This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

3 3433 06272289 1

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE.

1851.

Annales
D A

PARIS. — IMPRIMERIE DE BACHELIER,
rue du Jardinet, n° 12.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

1688

PAR

MM. ARAGO, CHEVREUL, DUMAS, PELOUZE,
BOUSSINGAULT, REGNAULT.

Troisième Série.

TOME TRENTE-DEUXIÈME.

PARIS,

VICTOR MASSON, LIBRAIRE,

PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 17.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,

RUE DU JARDINET, N° 12.

1851.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX
TILDEN FOUNDATIONS

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

RECHERCHES SUR LA CAPILLARITÉ;

PAR M. SIMON (de Metz) [*].

Les travaux de Laplace, sur l'ascension capillaire des liquides, appuyés par quelques expériences de M. Gay-Lussac, ont fait accepter comme incontestables les lois qui établissent que la hauteur de l'ascension est en raison inverse des diamètres des tubes, ou de l'écart des glaces parallèles, et que le liquide s'élève moitié moins entre les glaces parallèles que dans les tubes d'un diamètre égal à leur écart.

Cependant, si l'on considère, d'un côté, que ces lois sont basées sur un petit nombre d'expériences, et, de l'autre, que le phénomène peut se produire avec des tubes dont les diamètres varient depuis 3 centimètres jusqu'à des millièmes de millimètre, alors on se demande si ces lois sont bien réellement exactes, et si de nouvelles expériences ne sont pas devenues nécessaires pour éclairer ce point im-

[*] Ce travail, exécuté dans le laboratoire de Savart au Collége de France, a été présenté à l'Académie des Sciences le 17 mai 1841 (*Comptes rendus*, tome XII, page 892), et renvoyé à l'examen d'une Commission composée de MM. Arago, Gay-Lussac et Pouillet. L'auteur étant mort depuis cette époque, son Mémoire est resté dans les cartons de l'Académie. Nous croyons rendre un véritable service à la science en publiant aujourd'hui ce travail, qui renferme un nombre considérable d'expériences exécutées avec le plus grand soin. (R.)

portant de la science. Il a donc paru utile de mesurer l'ascension pour des diamètres qui eussent une plus grande différence entre eux, et l'on a été entraîné à multiplier les expériences, d'autant plus qu'elles s'accordaient moins avec des lois généralement admises.

Avant de présenter le tableau des résultats obtenus, il est sans doute à propos d'indiquer les moyens d'expérimentation qui ont été employés, afin que l'on puisse juger du degré de confiance qu'ils peuvent inspirer.

Une première opération consiste à mesurer le diamètre du tube au point où s'arrête l'ascension du liquide. Une lunette micrométrique, ou cathétomètre, qui rendait appréciable un centième de millimètre, a servi à mesurer les diamètres des plus gros tubes. A cet effet, on plaçait la section du tube au foyer de la lunette, et l'on mesurait exactement le diamètre vertical. En changeant le tube de position et en mesurant ainsi plusieurs diamètres, on en concluait le diamètre moyen.

Pour les tubes fins, on a successivement essayé et rejeté différents procédés, et, après plusieurs essais, on a donné la préférence au microscope armé d'un micromètre parfaitement divisé. Quelque confiance que paraisse mériter le mode de mesure qui consiste à calculer le diamètre d'après la longueur et le poids d'une colonne de mercure introduite dans le tube, on a cru devoir le rejeter, parce qu'il ne fait pas reconnaître l'ellipticité presque constante des tubes, non plus que les légères irrégularités dépendantes de leur fabrication. Le microscope, au contraire, amplifiant la section du tube à volonté, permet de la dessiner exactement au moyen de la chambre claire; et, en substituant au tube un disque de verre sur lequel est tracé un millimètre divisé en 100 parties, on superpose, toujours au moyen de la chambre claire, l'image du millimètre divisé sur celle du contour de l'ouverture tracée sur le papier. On peut ainsi, sans difficulté et sans perte de temps, me-

surer exactement des diamètres de quelques millièmes de millimètre (1). Il faut ensuite déterminer le point fixe où s'arrête la colonne liquide; ce qui présente d'autant plus de difficulté que les tubes deviennent plus étroits. Quelque tube que l'on prenne, il est nécessaire d'abord d'en mouiller l'intérieur, afin que l'ascension puisse atteindre son maximum, et il est également nécessaire d'observer pendant quelque temps le sommet de la colonne, afin de s'assurer qu'il reste fixe, ce qui a lieu après quelques instants pour les gros tubes; mais pour ceux dont le calibre n'a que $0^{mm},3$ ou $0^{mm},4$, soit qu'on laisse la colonne s'élever, soit qu'on la laisse descendre après avoir aspiré l'eau dans le tube, il s'écoule toujours plusieurs heures avant que le sommet de la colonne soit fixe. Lorsque le diamètre a moins de $0^{mm},2$, le point où s'arrête la colonne en s'abaissant, après avoir été élevée par l'aspiration, n'est jamais le même que celui qu'elle atteint par l'ascension; et la distance entre ces deux points devient plus grande à mesure que le tube devient plus étroit, de sorte qu'il reste de l'incertitude sur la hauteur réelle de la colonne. Pour des diamètres encore plus petits, toute expérience de mesure devient impraticable, de sorte qu'il faut recourir à un autre procédé, que nous exposerons plus loin, parce qu'il se confond avec le procédé qu'il faut employer pour mesurer la hauteur même de la colonne dans les tubes très-fins.

Le sphéromètre, ou vis à tête divisée, convient parfaitement pour mesurer la hauteur de la colonne liquide dans les tubes de 5 à 30 millimètres. A cet effet, on dispose, sur la plate-forme de cet instrument, une cuvette au fond de laquelle un disque plan est mastiqué dans une position horizontale; des tronçons de tubes, de 2 à 3 centimètres de hauteur, dont un des bouts est dressé perpendiculaire-

(1) Lorsqu'on mesure des diamètres extrêmement petits, il faut se garder de prendre pour l'ouverture du tube de très-petites bulles qui se rencontrent très-souvent dans le verre et qui se présentent sous le même aspect.

ment à l'axe, reposent sur ce plan horizontal ; des entailles, pratiquées sur le bord inférieur de ces tubes, établissent une libre communication entre l'eau que l'on verse dans la soucoupe et celle qui est à l'intérieur du tube: alors on fait descendre la tige du sphéromètre jusqu'à ce qu'elle touche la partie la plus déclive de l'eau contenue dans le tube, on note le point indiqué par l'échelle de l'instrument, on soulève le sphéromètre pour le sortir du tube, et, après en avoir essuyé la tige, on le place à une distance de 3 centimètres, au moins, du tube, après quoi on descend de nouveau la tige jusqu'au contact de la surface liquide. La différence marquée par le sphéromètre représente la hauteur de la colonne dans le tube.

Le procédé indiqué par M. Gay-Lussac, et qui se trouve décrit dans la plupart des ouvrages de physique, convient parfaitement pour les tubes de 5 millimètres à $0^{mm},5$; mais, au-dessous de ce dernier diamètre, il n'est plus possible d'observer directement le sommet de la colonne, puisque sa position n'est pas fixe, et que, dans les tubes extrêmement fins, la colonne n'est même plus visible. Cependant c'était principalement à ces petits diamètres qu'il fallait s'adresser pour résoudre la question que l'on s'était proposée. Après avoir essayé de différents moyens pour atteindre ce but, on a cru devoir s'arrêter aux suivants :

L'appareil dont on a d'abord fait usage se composait d'un tube de 2 à 3 centimètres de diamètre, fermé à sa partie supérieure par une rondelle percée d'un trou dans lequel était mastiqué le tube capillaire sur lequel on voulait expérimenter. L'extrémité inférieure de ce dernier tube débordait de quelques millimètres la surface inférieure de la rondelle, et la longueur du gros tube devait toujours être plus grande que la hauteur à laquelle le liquide était supposé s'élever dans le tube capillaire. Ce système était suspendu par des fils à un arbre horizontal, par la rotation duquel il pouvait être élevé sans balancement

et sans secousse; après l'avoir rempli d'eau, on le plongeait dans une éprouvette haute et assez large pour que la surface de l'eau qu'elle contenait fût plane, et où le niveau était indiqué par une pointe effilée. Alors, au moyen de l'arbre, on élevait le tube jusqu'à ce que le liquide, qui descendait graduellement dans le tube capillaire, en eût atteint l'extrémité inférieure, ce dont on était averti par le dégagement d'une petite bulle d'air qui indiquait ainsi, d'une manière fort sensible à l'œil, la position du sommet de la colonne. Il est clair que la hauteur de la colonne dans le grand tube est alors égale à celle qui s'élèverait dans le petit, en l'absence de toute influence étrangère. Pour avoir la hauteur de cette colonne, il suffisait donc de prendre la distance qui existait entre l'extrémité inférieure du petit tube et le niveau de l'eau dans l'éprouvette (1).

Ce procédé ne permettait de mesurer la colonne capillaire avec exactitude, que pour des diamètres qui n'étaient pas moindres de $0^{mm},3$ à $0^{mm},2$; mais l'emploi qu'on en a fait a conduit naturellement au suivant, qui permet d'observer le phénomène de la capillarité dans les tubes les plus fins.

Pour faire comprendre ce procédé, supposons qu'on ait un tube capillaire placé verticalement et dont l'extrémité inférieure ne fasse qu'affleurer la surface de l'eau; ce liquide s'y élèvera à la hauteur qui conviendra au diamètre du tube. Si alors on en fait communiquer l'extrémité supérieure avec un vase dans lequel on puisse comprimer de l'air graduellement, la hauteur de la colonne diminuera d'autant plus que la force élastique de l'air deviendra plus grande; il y aura un moment où la hauteur de la colonne sera nulle, et, un peu après, une bulle d'air se dégagera. Or, si une éprouvette à eau est adaptée au vase de com-

(1) En essayant de réduire cette disposition d'appareil à un large tube fermé à un bout par une plaque mince percée par un trou capillaire, il s'est présenté plusieurs obstacles, dont le principal était la difficulté de pratiquer un trou capillaire très-net.

pression, l'expérience montre, qu'à ce même moment la hauteur de l'eau dans l'éprouvette est justement égale à celle de la colonne capillaire lorsqu'elle s'élevait à l'air libre : donc, au moyen d'un vase de compression auquel d'une éprouvette, et auquel on adaptera des tubes capillaires affleurant ainsi la surface d'un liquide, il sera facile de déterminer exactement l'élévation qui pourrait avoir lieu dans ces tubes.

On a adopté ce procédé pour mesurer l'ascension dans les tubes les plus fins, parce qu'il paraissait le seul praticable, et l'on s'en est même servi pour des tubes de 1 et 2 millimètres, parce qu'il facilitait beaucoup les opérations et en abrégeait la durée.

Comme l'élévation de la colonne dépend du diamètre du tube à l'endroit qui correspond à son sommet, et que ce sommet se trouve ici à l'orifice par lequel les bulles se dégagent, il n'y a pas nécessité que le canal du tube soit cylindrique, pourvu que sa section soit circulaire; ce qui a permis d'expérimenter sur des diamètres beaucoup plus petits que ceux des tubes les plus fins que l'on puisse trouver dans le commerce. En effet, il suffit de prendre un tube très-fin et à parois très-épaisses, afin qu'en l'étirant, après l'avoir chauffé à la lampe, il fournisse un fil très-fin. Il faut d'ailleurs avoir soin de couper les fils de verre ainsi obtenus, par une section bien nette et perpendiculaire à leur axe, et de rejeter ceux dont l'ouverture ne serait pas circulaire; ce qui exige un grand nombre d'essais.

Voici comment était disposé l'appareil dont on s'est servi : De l'air était comprimé dans un vase portant deux ouvertures fermées par des robinets. Une éprouvette à mercure à double courbure, et haute de $0^m,80$, était fixée sur une de ces ouvertures; l'autre était fermée par un bouchon à vis, dans lequel était mastiqué le tube dont on avait fait choix, et qui préalablement avait été coudé à la lampe, afin que son extrémité effilée pût plonger dans une capsule remplie d'eau, et placée sur un support à coulisse. Le tube

nomen[on]çait ainsi d'une quantité qu'il était nécessaire de nt ég[a]urer, afin de la retrancher de la hauteur de la colonne ait à [i]ndiquait la pression. En ouvrant les deux robinets, on ion a[i]t, d'un côté, la mesure de la tension de l'air dans le es c[a]e, et, de l'autre, on jugeait, par le dégagement ou par ra f[a]bsence des bulles, si cette tension était trop grande ou it a[u]p faible pour équilibrer la colonne capillaire qui pouvait [ê]tre élevée par un tube d'un diamètre égal à celui de l'extrémité par laquelle les bulles devaient s'échapper. Si le dégagement n'avait pas lieu, il fallait augmenter la tension de l'air; dans le cas contraire, on laissait lentement et avec précaution échapper l'air du réservoir, jusqu'à ce que les bulles cessassent de se montrer. A cet instant, l'éprouvette indiquait la hauteur de la colonne capillaire (1).

Le procédé que l'on vient de décrire permet de porter l'observation beaucoup plus loin qu'elle n'a pu l'être jusqu'ici : néanmoins, afin de diminuer, autant que possible, les chances d'erreur, on a encore pris la précaution de multiplier assez les expériences pour en prendre une moyenne qu'on pourra regarder comme s'approchant, autant que possible, de la réalité.

Le tableau suivant renferme une série d'expériences faites sur des tubes dont les diamètres différaient depuis 31 millimètres jusqu'à $0^{mm},0061$. Elles ont été faites à la température de 0 degré, ou ramenées à ce terme par un calcul que des expériences rapportées plus loin ont permis de faire.

(1) Il serait facile de construire, d'après ce principe, un appareil au moyen duquel on pourrait faire, en très-peu de temps, la démonstration de la loi de l'ascension capillaire dans les tubes. Au réservoir dont on vient de parler, il suffirait d'adapter un tuyau horizontal portant quatre ou cinq raccords séparés les uns des autres par des robinets et destinés à recevoir des bouchons à vis portant des tubes capillaires de différents diamètres, recourbés et plongeant dans des capsules remplies d'eau. Il faudrait avoir l'attention de placer les tubes les plus étroits près du réservoir : alors, tous les robinets étant fermés, on établirait d'abord la communication avec le premier tube. Quand les bulles auraient cessé de se dégager par ce tube, on ouvrirait le robinet suivant, et ainsi de suite.

DIAMÈTRES des tubes.	HAUTEURS des colonnes d'eau.	PRODUITS des diamètres et des colonnes d'eau.	OBSERVATIONS.
mm			
31,0	0,000	0,000	
28,0	0,005	0,140	
25,3	0,019	0,480	
24,0	0,042	1,008	
23,5	0,050	1,750	
18,0	0,200	3,600	Hauteur prise au moyen du sphéromètre.
16,5	0,260	4,290	
14,0	0,440	6,160	
11,8	0,74	8,800	
8,6	1,51	12,980	
6,66	2,41	16,050	
5,4	3,65	19,710	
3,6	7,02	25,272	
3,4	7,70	26,180	
2,2	12,80	28,160	
1,25	24,00	30,000	Hauteur déterminée indifféremment avec la lunette micrométrique, ou par la compression de l'air.
0,605	53,60	31,228	
0,57	55,60	31,692	
0,42	76,00	31,920	
0,36	89,00	32,040	
0,315	102,00	32,130	
0,14	233,00	32,620	
0,05	663,00	33,150	
0,0308	1080,00	33,264	
0,028	1289,00	33,292	
0,025	1333,00	33,325	Résultats obtenus par la compression de l'air.
0,020	1693,00	33,860	
0,012	2884,00	34,608	
0,0075	4695,00	37,560	
0,007	5391,00	37,733	
0,0061	6828,00	44,508	

Les trois dernières expériences rapportées dans ce tableau semblent annoncer que, pour des diamètres au-dessous de $0^{mm},008$, l'ascension croîtrait beaucoup plus rapidement que pour des tubes moins étroits; toutefois, la difficulté de mesurer avec exactitude des dimensions si minimes, ne permet

pas de regarder ces résultats comme rigoureux. On se serait même abstenu de les rapporter, s'ils ne s'étaient présentés à l'observation un grand nombre de fois. Il est nécessaire toutefois de faire remarquer que $0^{mm},0001$ de plus ou de moins dans le diamètre suffirait pour apporter une grande différence dans les résultats.

En laissant donc de côté ces trois dernières valeurs, on peut conclure de ce tableau que l'ascension commence à être appréciable dans des tubes de 28 à 30 millimètres de diamètre; que le rapport du diamètre du tube à la hauteur de la colonne n'est pas constant, c'est-à-dire que la hauteur n'est pas en raison inverse du diamètre, et que, par conséquent, la loi admise jusqu'à présent n'est pas exacte; qu'en comparant les grands diamètres aux petits, la colonne augmente toujours de hauteur d'une quantité plus grande que ne l'indique cette loi, mais d'une quantité qui va toujours en décroissant à mesure que l'on passe des plus grands aux moindres diamètres, et qui, pour ceux de 1 à 2 millimètres, est assez peu considérable pour qu'on ait pu la négliger et la regarder comme une légère erreur inhérente à ce genre d'expériences..

Dans le mode d'expérimentation dont on vient de parler, la cavité hémisphérique que forme le liquide, lorsqu'une bulle est sur le point de se former, fait équilibre à une colonne d'air d'autant plus comprimée que le diamètre est plus petit; cette courbure résiste donc à une force dilatante qui peut être très-puissante. N'est-il pas naturel de penser que la force qui, dans ce cas, résulte du groupement des molécules, reste encore la même lorsque la cavité est entièrement sphérique? Rien, en effet, ne peut faire supposer que les attractions des molécules liquides, disposées suivant une surface demi-circulaire, puissent être différentes lorsque cette courbe est fermée. L'analogie entre ces deux cas est, de plus, indiquée par l'arrangement des molécules li-

quides en forme de sphère, lorsqu'elles ne sont empêchées par aucun contact extérieur, et par quelques expériences qui seront bientôt présentées pour montrer que des molécules liquides, disposées autour d'un cercle, tendent à se resserrer.

Il résulterait de là que l'air, formant des bulles au milieu d'un liquide, serait comprimé par la force adhésive de ce liquide, et qu'il le serait d'autant plus que les bulles seraient plus petites. Ainsi, lorsqu'un gaz est mêlé à un liquide, et que ses particules sont tellement divisées, qu'elles échappent à la vue, elles seront alors comprimées par l'action moléculaire avec une force égale à plusieurs atmosphères. En supposant, par exemple, un diamètre de $0^{mm},0001$ à des bulles d'acide carbonique mêlées dans l'eau, la compression sera assez forte pour faire passer ce corps de l'état gazeux à l'état liquide. Ne peut-on pas induire de là que ce qui a lieu pour les gaz doit également exister pour tous les corps qui sont suspendus dans des liquides? Car la force comprimante dépendant de l'arrangement des molécules autour d'une sphère, il semble indifférent que cette sphère soit un solide ou un gaz. Si donc ces vues pouvaient être confirmées par des expériences directes, ce que l'on a vainement tenté, on pourrait admettre avec sécurité cette proposition générale : que tous les corps suspendus dans un liquide sont soumis à une compression d'autant plus puissante que les particules de ces corps sont plus ténues. On peut encore ajouter que cette compression est sans cesse modifiée par la température, et même par la pression atmosphérique, lorsque ces corps sont gazeux.

A l'aide du dernier appareil décrit plus haut, il est facile de mesurer, avec la plus grande exactitude, la hauteur à laquelle des liquides de différente nature peuvent s'élever dans des tubes capillaires; et, quoiqu'on ne se soit pas spécialement proposé cet important sujet de recherches, on rappor-

tera dans le tableau suivant les résultats de quelques expériences faites sur un petit nombre de liquides journellement employés dans les laboratoires.

En prenant l'ascension de l'eau pour limite, on a obtenu les rapports suivants.

Les sels forment des solutions saturées :

Chlorhydrate d'ammoniaque	1,077
Hydrosulfate de potasse	1,020
Nitrate de cuivre	1,012
Sulfate de cuivre	1,007
Sulfate de potasse	1,007
Eau	1,000
Sulfate de fer	0,989
Acide hyposulfurique	0,979
Acide nitrique	0,872
Acide sulfurique	0,824
Carbure de soufre	0,476
Hydrate de métylène	0,359
Éther sulfurique	0,280

Influence de la température sur la hauteur de la colonne capillaire.

La température ayant une influence notable sur les phénomènes intermoléculaires, on a dû rechercher quelle était la loi de cette influence sur l'ascension capillaire. Pour atteindre ce but, on a fait usage d'une lampe à esprit-de-vin placée sous la capsule qui contenait l'eau où plongeait le tube, et dont la flamme était réglée pour que l'eau conservât un même degré de température pendant toute la durée d'une expérience.

Le tableau suivant indique la marche du phénomène :

DIAMÈTRE DU TUBE, 0mm,054.		DIAMÈTRE DU TUBE, 0mm,142.		DIAMÈTRE DU TUBE, 0mm,36.	
Degrés de température	Hauteur de la colonne d'eau.	Degrés de température.	Hauteur de la colonne d'eau.	Degrés de température.	Hauteur de la colonne d'eau.
o	mm	o	mm	o	mm
0	615	0	229	0	89,0
12	597	9	224	3	88,0
34	564	21	217	6	87,0
49	540	32	211	8	87,0
61	521	50	201	21	84,0
80	492	60	195	56	76,0
94	468	71	190	62	75,0
100	462	76	186	64	74,5
"	"	80	177	68	73,0
"	"	95	174	93	68,0
"	"	100	172	100	66,0

Des expériences semblables, répétées un grand nombi de fois sur des tubes de diamètres différents, ont toujou conduit à ce résultat, que l'ascension de l'eau est dans u rapport inverse avec l'élévation de la température, et, que que attention que l'on ait apportée à ces expériences, on n rien observé de particulier, soit dans le voisinage du poi d'ébullition, soit dans celui du maximum de densité d l'eau.

L'expérience montre que la différence de hauteur de l colonne à o et à 100 degrés est proportionnellement même pour des tubes de divers diamètres; afin de s'en as surer, on a comparé, pour plusieurs tubes, la hauteur d l'ascension à ces deux points extrêmes de l'échelle therm métrique :

DIAMÈTRE des tubes.	HAUTEUR DE LA COLONNE		RAPPORT DES HAUTEURS de la colonne à 0° et à 100°.	RAPPORT moyen.
	Pour 0°.	Pour 100°.		
mm	mm	mm		
0,51	63	46	4 : 2,92 = 1,369	
0,36	89	66	4 : 2,92 = 1,369	
0,347	93	70	4 : 3,01 = 1,328	
0,147	222	166	4 : 2,99 = 1,337	1,343
0,142	229	172	4 : 3,00 = 1,332	
0,138	237	177	4 : 2,98 = 1,339	
0,054	615	462	4 : 3,00 = 1,332	

Il résulte des faits contenus dans ce tableau, que, quel que soit le diamètre des tubes, la hauteur de la colonne à 0 degré est à celle qu'on observe à 100 degrés comme 4 est à 3; de sorte que, connaissant la hauteur pour un degré quelconque de température, il sera toujours facile d'en conclure celle qui convient à 0 ou à tout autre degré, puisqu'en représentant par 400 l'élévation à 0 degré, et par 300 celle à 100 degrés, l'élévation pour un degré quelconque sera toujours 400, moins ce même nombre de degrés centigrades.

Ce rapport 4 : 3, ou 1,33 que donne l'expérience, conduit à penser que la densité de l'eau est la cause qui produit cette différence d'ascension. En effet, un volume d'eau augmentant de 0,0466 pour 100 degrés de température, il en résulte qu'une colonne d'eau étant 1 à 0 degré, il sera 1,36 à 100 degrés; rapport très-voisin du rapport moyen des expériences ci-dessus. L'ascension est donc en raison directe de la densité, ou en raison inverse de l'écartement des molécules liquides. Toutefois, il ne faudrait pas conclure de là que ce soit la différence même de densité qui produise la différence d'élévation à diverses températures, car on peut remarquer aussi que la viscosité, ou mieux, que la propriété que les liquides ont de s'étendre en nappes, est de même liée à leur densité et à leur température. D'ailleurs, ce qui prouve que la densité ne joue pas un rôle exclusif

dans le phénomène, c'est que, pour faire varier la colonne d'ascension, il suffit de changer la température de la partie la plus élevée de cette colonne. Si, par exemple, on en approche un corps incandescent, ou si l'on dirige sur ce point un jet de flamme au moyen d'un chalumeau, on voit aussitôt la colonne descendre rapidement jusqu'à un point où elle reste fixe, même lorsque l'eau de la partie supérieure du tube paraît en ébullition. Il résulte donc de là que l'ascension dépend principalement de l'état des molécules qui forment le sommet de la colonne d'eau.

Ascension entre deux glaces parallèles.

L'ascension de l'eau entre deux glaces parallèles offre plus d'irrégularités encore pour les petits écarts que celle qui a lieu dans les tubes. On ne peut pas la déterminer par le procédé du dégagement des bulles ; de sorte que les résultats auxquels on arrive ne sont pas toujours identiques pour des circonstances qui semblent exactement les mêmes; néanmoins ces irrégularités n'empêchent pas de constater que les lois admises jusqu'ici sont complétement inexactes.

Pour les expériences qui sont réunies dans le tableau suivant, l'écart des glaces a été déterminé à l'aide de deux lames de métal maintenues entre deux bords opposés des glaces par des vis de pression, et il a été mesuré au moyen du sphéromètre. Cet instrument a également servi pour mesurer l'élévation de l'eau quand la distance des glaces était assez grande pour donner passage à la tige. Pour des distances moindres, on a employé la lunette micrométrique qui servait aussi à constater la verticalité des glaces. Il est inutile d'entrer dans plus de détails sur la disposition de l'appareil qu'il est facile de se représenter.

Pour éviter les difficultés dépendantes des variations de température, on a eu l'attention de ne comparer que les observations faites à des températures qui ne différaient entre elles que de quelques degrés, de 16 à 20 degrés centigrades.

Les nombres de la deuxième colonne de ce tableau sont des moyennes d'un grand nombre d'expériences faites pour chaque écart correspondant des glaces.

ÉCART DES GLACES.	HAUTEUR de la nappe d'eau.	PRODUIT de l'écart à la hauteur de l'ascension.
mm	mm	mm
25,00	0,000	"
23,00	0,0213	0,5
18,00	0,062	1,12
14,00	0,140	1,96
13,00	0,170	2,21
11,00	0,245	2,69
10,00	0,340	3,40
5,00	1,250	6,25
3,96	1,900	7,52
2,09	4,230	8,84
1,91	4,680	9,06
1,26	7,420	9,20
1,084	8,500	9,21
1,040	9,070	9,43
1,000	9,468	9,468
0,518	19,130	10,00
0,500	20,000	10,00
0,404	25,000	10,10
0,272	37,800	10,30
0,268	38,420	10,30
0,250	41,240	10,31
0,220	46,900	10,32
0,194	53,200	10,33
0,158	65,380	10,33
0,140	73,780	10,34

Il résulte de l'ensemble de ces observations que l'ascension commence à se faire sentir pour un écart de 23 à 24 millimètres; qu'elle croît plus rapidement que ne l'indique le rapport inverse des écarts à la hauteur; qu'elle suit une progression semblable à celle qui a lieu pour les tubes, et que cette ascension est beaucoup moindre que la moitié de celle des tubes d'un diamètre égal à l'écart des glaces.

Quoique plusieurs des résultats que l'on a obtenus diffèrent notablement, en plus ou en moins, de la moyenne que l'on a dû adopter, il n'en est cependant aucun qui ait atteint jusqu'à la moitié de l'ascension dans les tubes.

En comparant, d'après les tableaux précédents, l'ascension dans les tubes et entre les glaces, on trouve que la première est à la seconde comme 3,2 : 1. Or les observations sur l'ascension entre les glaces ayant été faites à la température de 16 à 20 degrés au-dessus de 0 degré, le rapport 3,2 : 1 est un peu trop grand pour l'ascension ramenée à 0 degré. En supposant cette réduction opérée, on peut conclure que l'expérience donne pour résultat que les ascensions entre les glaces et dans les tubes sont dans le rapport du diamètre à la circonférence.

Il était important de vérifier si l'hyperbole formée par l'ascension entre deux glaces faisant un angle entre elles, reproduisait encore la progression que l'on avait trouvée pour les tubes et pour les glaces parallèles. Après avoir produit cette hyperbole, on en a fidèlement tracé la courbe sur l'une des glaces, ainsi que le niveau de l'eau extérieure; on a déterminé l'angle que faisaient les glaces, afin d'en conclure l'écart aux différents points pour lesquels on mesurait l'élévation de l'eau : on a pu s'assurer ainsi que l'ascension présentait encore la même progression. Mais il arrive ici que, pour un même écart, la hauteur varie en même temps que l'angle formé par les glaces.

On doit faire observer que cette progression est déjà indiquée dans les tableaux que Hauksbée a donnés sur ce sujet. Quoique ce physicien n'ait pas tiré cette conclusion des expériences qu'il a faites sur l'élévation de l'eau entre des glaces, néanmoins elle résulte évidemment des expériences et des nombres qu'il a rapportés dans son Mémoire sur cette question.

Adhésion produite entre deux disques, au moyen d'une couche d'eau interposée.

Une goutte d'eau étant placée sur un disque fixe, si l'on en approche jusqu'au contact un autre disque de même diamètre, mobile et équilibré, l'adhésion s'établit entre les deux disques, au moyen du changement de forme du liquide qui, de convexe qu'il était, présente une cavité à son pourtour. Le liquide s'étend alors jusqu'à ce qu'il soit parvenu au bord des disques, et il les rapproche, autant qu'il est nécessaire, pour qu'il n'y ait plus d'action attractive, c'est-à-dire jusqu'à ce que la courbure du pourtour n'existe plus; de sorte que l'eau interposée a la forme d'une portion de cylindre dont les arêtes se confondent avec celles des disques.

Il est facile de montrer par l'expérience le lien qui existe entre ce fait et l'ascension capillaire, en fixant dans une entaille faite à la partie centrale du disque supérieur deux glaces parallèles auxquelles on donne le même écart que celui des disques. Alors l'eau monte entre ces glaces comme si elles étaient en communication avec une nappe d'eau horizontale : mais si, en conservant le même écart entre les disques, on enlève avec une pipette une partie du liquide, de manière à former une gorge au pourtour, aussitôt l'eau descend entre les glaces, et l'ascension devient nulle quand la gorge est aussi concave qu'elle peut l'être. Si, au lieu de glaces parallèles, on fixe sur le disque un tube d'un diamètre égal à l'écart des plans, l'eau, lorsqu'il n'y a pas de gorge au pourtour du liquide interposé, s'y élève jusqu'au point où elle monterait si le tube était plongé dans un vase rempli d'eau; et lorsqu'on aspire de l'eau avec la pipette, de manière à produire entre les glaces une gorge aussi profonde qu'elle puisse l'être, l'eau baisse, dans le tube, d'une quantité égale à la hauteur de la nappe qui s'élevait entre les glaces parallèles, c'est-à-dire d'à peu près un tiers dans le tube. Il arrive donc là ce qui arrive-

rait si l'on pouvait placer entre deux glaces parallèles plongées dans l'eau, un tube dont le diamètre égalerait l'écart de ces glaces et dont le bout inférieur affleurerait la courbure du liquide qui se serait élevé entre elles : l'ascension dans le tube, augmentée de l'ascension entre les glaces, égalerait l'ascension dans le tube plongé directement dans une nappe d'eau. Ainsi, la gorge d'une nappe d'eau placée entre deux disques horizontaux, ou soulevée entre deux glaces parallèles qui auraient le même écart que les disques, étant sensiblement la même, elle représentera, dans l'un et l'autre cas, une force susceptible de diminuer l'ascension dans un tube capillaire, d'une quantité égale à l'élévation qui a lieu entre les deux glaces parallèles.

Si maintenant on veut mesurer, par des poids, la force avec laquelle adhèrent l'un à l'autre deux disques entre lesquels une couche plus ou moins épaisse de liquide est interposée, il est nécessaire de rendre les deux surfaces parfaitement horizontales et de produire une traction qui leur soit exactement normale. Il faut aussi que les disques soient assez épais pour ne subir aucune flexion. Le disque mobile étant suspendu à une balance à crémaillère, équilibré par des contre-poids et maintenu dans une position horizontale au moyen de trois fils qu'on pouvait allonger ou raccourcir à volonté, on verse sur le disque inférieur une certaine quantité d'eau, on applique le disque supérieur en l'inclinant légèrement, et la pesée se fait en laissant couler du sable fin par une petite ouverture, afin d'éviter les légères secousses que produirait la chute des poids; ou bien on place un certain poids dans le plateau de la balance, et, au moyen d'une pipette, on introduit entre les disques le liquide que l'on a pesé d'avance. En répétant ces observations, on reconnaît la nécessité d'une foule de précautions indispensables, et qu'il est inutile d'énumérer ici, parce qu'elles se présentent d'elles-mêmes à l'expérimentateur.

Des expériences, faites avec des disques de différents dia-

mètres et avec un anneau, ont donné les résultats suivants:

TEMPÉRATURE, 20 DEGRÉS.

DIAMÈTRE DES DISQUES, 108 MILLIMÈTRES.	
Poids de l'eau interposée.	Poids qui produisent la séparation.
gr	gr
0,38	2000
0,50	1637
0,65	1300
0,75	1000
1,00	850
1,60	500
2,00	400
3,00	300
3,40	270
3,70	250
4,00	240
5,00	203
7,00	150
7,50	125
8,00	118
10,50	100
11,50	90
15,50	80
16,00	73
18,60	70
25,50	60
29,00	55
35,06	50
40,00	46
42,00	45
Poids variable.	40

DIAMÈTRE DES DISQUES, 76mm,8.	
Poids de l'eau interposée.	Poids qui produisent la séparation.
gr	gr
0,5	330
1,0	192
2,0	120
3,0	80
4,0	62
5,0	47
6,0	40
7,0	33
8,0	32
Diamètre des disques, 54 millimètres.	
0,2	200
0,5	105
1,2	50
1,6	40
3,6	20
Diamètre des disques, 27 millimètres.	
0,08	40
0,18	20
0,40	10
0,78	5
Anneau.... { Diamètre extérieur : 108mm,8. Diamètre intérieur : 78mm,2.	
0,5	280
1,0	160
2,0	100
4,0	50

On peut tirer de ces expériences les conséquences suivantes :

Pour des disques de même diamètre, les poids nécessaires pour produire la séparation sont à peu près en raison inverse de la quantité d'eau interposée, ou, ce qui est la même chose, de l'écart des disques. Toutefois, il est à présumer que si ces expériences pouvaient être faites avec toute la précision désirable, on trouverait que cette loi s'écarte de la réalité dans ce cas, justement dans le même sens que pour les tubes; et les nombres du tableau ci-dessus viennent même à l'appui de cette manière de voir.

Si l'on interpose entre divers couples de disques de différents diamètres, des quantités d'eau telles, que l'écart de ces disques soit le même, le poids nécessaire pour les séparer sera proportionnel à la circonférence ou à la surface des disques. Ainsi, on peut voir, par le tableau qui précède, qu'en interposant $0^{gr},4$ d'eau entre des disques de 27 millimètres de diamètre, ou $1^{gr},6$ entre des disques de 54 millimètres, ou 3 grammes entre des disques de 76 millimètres, on 7 grammes entre ceux de 108, les poids de séparation sont respectivement 10, 40, 80, ..., c'est-à-dire comme les surfaces des disques. Il en est de même pour les autres nombres correspondants du même tableau.

Si l'on suppose que les poids qui produisent la séparation des disques soient transformés en des colonnes d'eau de même diamètre que les disques, on trouve que la hauteur de ces colonnes est sensiblement égale à celle des colonnes d'eau qui s'élèvent entre deux glaces parallèles dont l'écart est le même que celui des disques; les différences sont assez petites pour qu'on puisse les attribuer aux erreurs inhérentes à ce genre d'expériences, de sorte qu'il est possible de déterminer d'avance quelle quantité d'eau il faudra mettre entre deux disques d'un diamètre donné pour qu'ils supportent un certain poids. Si, par exemple, on veut connaître la quantité d'eau nécessaire pour faire

adhérer deux disques de 108 millimètres de diamètre, de manière qu'ils supportent 500 grammes, et pas davantage, on a, pour hauteur de la colonne, 500 000 millimètres cubes d'eau à diviser par 9156^{mm},24, surface d'un disque de 108 millimètres de diamètre, ce qui donne, pour hauteur du cylindre d'eau, 54^{mm},6. Le tableau de la page 19, où sont résumées les expériences sur les glaces parallèles, indique pour cette même élévation un écart de 0^{mm},19, qui devra être également celui des disques; ce qui exigera une quantité de liquide de 0^{mm},190 $\times$ 9156,24 = 1^{gr},7. L'expérience a donné 1^{gr},6.

L'expérience suivante fera comprendre comment la courbure liquide qui s'établit au pourtour de la nappe interposée, fait réellement équilibre à un poids qui représente un cylindre d'eau ayant le disque pour base, et, pour hauteur, la hauteur du liquide entre deux lames parallèles d'un écart égal à celui des disques.

Un tube cylindrique de verre, de 8 à 10 centimètres de diamètre, est placé verticalement et assujetti dans un vase dont il ne touche pas le fond, de manière que l'eau versée dans l'un des deux remplisse également l'autre. Un disque d'un diamètre un peu moindre que celui du tube de verre, est fixé horizontalement à l'orifice de ce tube, de manière à laisser entre le contour du disque et la partie supérieure de la paroi du tube un espace capillaire. Après avoir rempli les deux vases jusqu'à ce que l'eau arrive au contact du disque, et après avoir chassé les bulles d'air qui peuvent adhérer à sa face inférieure, on retire lentement l'eau du vase extérieur et l'on remarque que l'eau du vase intérieur ne quitte pas le disque, et que le liquide forme, au pourtour de ce dernier, une gorge dont la profondeur augmente à mesure que le niveau baisse dans le vase extérieur. Il arrive enfin un instant où l'air s'introduit entre le disque et la paroi du tube, c'est lorsque la différence de niveau dans les deux vases est plus grande que la hauteur de la

nappe d'eau qui s'élèverait entre des glaces parallèles dont l'écart serait le même que celui qui existe entre le disque et le cylindre de verre.

On peut remarquer aussi, par l'inspection du tableau précédent, que, lorsque la quantité d'eau interposée est considérable, l'analogie entre les disques et les plans parallèles s'altère; ce qui doit être attribué à la forme que prend alors la courbure, qui devient convexe et saillante dans sa partie inférieure, tandis qu'elle est rentrante supérieurement, de manière à prendre la forme d'un S.

Ces expériences prouvent clairement que, lorsqu'une surface solide se sépare d'un liquide, il n'y a réellement pas disjonction simultanée entre les molécules liquides qui sont en contact avec les disques et celles qui les avoisinent; car alors la séparation aurait toujours lieu pour un certain poids qui serait proportionnel aux surfaces des disques, et qui ne pourrait être influencé par leur écart. On conçoit, au contraire, que les deux disques, en résistant à un effort qui tend à les séparer, produisent une traction sur la partie moyenne de la courbure liquide, puisqu'ils ne peuvent s'écarter qu'autant que la courbure devient plus profonde, et l'angle de contact plus aigu. La séparation commence donc lorsque les molécules qui forment le sommet de l'angle sont abandonnées par celles qui les avoisinent. L'effort de traction agit ainsi sur une ligne circulaire de molécules, et non sur la surface du disque, de sorte que le liquide se retire peu à peu vers le centre du plan. Ceci explique également une particularité, qu'il suffit de mentionner ici : c'est que le temps nécessaire à la séparation des disques est d'autant plus grand, que la couche du liquide interposé est plus mince.

Il semblait que ces expériences, faites avec des disques de diverses substances, auraient pu indiquer la différence d'adhésion de l'eau pour ces substances; néanmoins, en opérant sur des disques de verre ou de laiton, les résultats n'ont présenté aucune différence sensible; de sorte qu'il faudrait

recourir à d'autres moyens pour découvrir cette différence d'adhésion, qui paraît devoir exister; car des gouttes d'eau de même grosseur s'étendent beaucoup plus sur le verre que sur le laiton. On peut remarquer, en outre, que, pour qu'une goutte d'eau coule sur un disque de cuivre, il faut donner à celui-ci une inclinaison de 45 degrés, tandis que, pour que le même effet se produise sur un disque de verre, il ne faut qu'une inclinaison de 20 degrés.

De l'adhésion qui a lieu entre un plan et une surface liquide.

Les phénomènes de capillarité qui se manifestent lorsqu'on met une surface solide en contact avec une surface liquide, et qu'on tend à séparer l'une de l'autre, présentent des circonstances qu'il a paru intéressant d'étudier.

Lorsqu'on met un disque en contact avec de l'eau contenue dans un vase, et que l'on élève ce disque en lui conservant son horizontalité, on sait que l'eau est soulevée par le disque jusqu'à une certaine hauteur. L'épaisseur de la couche d'eau soulevée est-elle toujours la même, quel que soit le diamètre des disques, ou bien est-elle influencée par ce diamètre? C'est ce que les expériences suivantes ont pour objet de déterminer.

On a suspendu successivement, à une balance à crémaillère, des disques de différents diamètres, à bords tranchants, équilibrés par des contre-poids, et maintenus dans une position horizontale au moyen de trois fils que l'on pouvait allonger ou raccourcir à volonté. Afin qu'il ne restât pas de bulles d'air fixées à la surface du disque, on inclinait légèrement celui-ci au moment de son contact avec le liquide. La pesée se faisait comme dans le cas précédent. A mesure que le disque s'élevait au-dessus du niveau de l'eau, on avait soin d'élever la balance, ou de retirer de l'eau du vase, afin que l'aiguille index fût toujours à zéro.

La température paraît exercer sur ce mode d'adhésion la

même influence que sur l'ascension dans les tubes; c'est ce que l'on a pu conclure de plusieurs expériences qu'il est inutile de rapporter, vu le peu de concordance qu'elles ont entre elles. Les obstacles qui s'opposent à la régularité des opérations sont, d'une part, l'agitation du liquide et le dégagement des bulles qui commencent à paraître vers les 50 degrés, et qui, se fixant sous le disque, diminuent le poids de l'eau soulevée d'une quantité correspondante à leur volume; d'une autre, le refroidissement du disque, qui s'oppose à ce que la température qui existe au contact soit la même que celle qui est indiquée par le thermomètre plongé dans l'eau du vase. Néanmoins, en écartant, autant que possible, ces causes d'erreur, on a obtenu quelques résultats qui indiquent assez clairement que les poids de l'eau soulevée à 0 et à 95 degrés, sont aussi dans le rapport de 4 à 3.

Afin de n'avoir pas à se préoccuper des variations dues à cette cause, on n'a réuni, dans le tableau suivant, que les résultats obtenus à des températures très-voisines l'une de l'autre :

TEMPÉRATURE, 20 DEGRÉS.			
SURFACES des disques.	POIDS qui produisent la séparation.	RAPPORTS des surfaces entre elles.	RAPPORTS des poids entre eux.
mm	gr		
572,265	3,00	1,000	1,00
1074,665	5,00	1,878	1,66
1319,585	6,70	2,305	2,23
2289,060	11,50	4,000	3,83
2461,760	12,50	4,301	4,166
3576,656	17,95	6,249	5,98
4634,943	23,60	8,099	7,87
9156,240	48,40	16,000	16,10
14306,625	75,70	25,000	25,23
20601,540	108,00	36,000	36,00

On voit, par l'examen de ce tableau, que les poids d'eau soulevée sont sensiblement proportionnels aux surfaces des disques, du moins pour les diamètres les plus grands jusqu'à celui de 27 millimètres, qui est le plus petit que l'on ait soumis à ce mode d'expérience; de sorte qu'à défaut d'autre moyen, on pourrait, par ce procédé, mesurer approximativement avec une balance la surface d'un disque.

Il semble que l'on pourrait aussi conclure de ce tableau l'élévation à laquelle peut atteindre le disque; ce qui serait facile, si l'eau soulevée formait une masse cylindrique dont le disque serait une des bases; mais ce n'est pas ainsi que se présente le phénomène. Lorsque le disque commence à s'élever, il entraîne avec lui l'eau qui l'environne, et qui forme à son pourtour une courbe dont la concavité est tournée en haut, et dont une extrémité est tangente au liquide, tandis que l'autre adhère au disque, avec le plan duquel elle forme un angle d'autant plus obtus que l'élévation est moindre. Cet angle devient droit, lorsque le disque est arrivé au point où s'élèverait l'eau le long d'une paroi verticale. Le disque continuant à s'élever, la courbe pénètre au-dessous, et y forme un étranglement ou une gorge; ce qui rend aigu l'angle de contact formé par la courbe liquide et la surface inférieure du disque. C'est alors que le poids qui mesure l'adhésion est à son maximum, et c'est ce poids qui est consigné dans le tableau précédent : mais le disque n'est pas encore parvenu à la plus grande élévation à laquelle l'adhésion lui permette d'atteindre, de sorte que ce maximum du poids indique seulement que si l'élévation augmentait, la quantité de liquide soulevé serait moindre que pour une plus petite hauteur, et qu'alors la séparation aurait lieu sans addition de nouveaux poids; de même que si l'on soufflait sous le disque équilibré quelques bulles d'air qui, diminuant le poids du liquide d'une quantité proportionnelle à leur volume, rendraient le contre-poids prépondérant.

A mesure, donc, que le disque s'élève davantage, la

gorge devient plus creuse, l'angle de contact devient en même temps plus aigu, et lorsqu'il est arrivé au terme au delà duquel l'adhésion du liquide au disque ne peut plus avoir lieu, les molécules d'eau qui forment le sommet de l'angle cèdent à la traction ; elles abandonnent le point où elles étaient fixées, et la séparation se fait ainsi en commençant par la circonférence. Lorsqu'il ne reste plus qu'une petite quantité de liquide entre la surface du vase et le centre du disque, les points opposés de la gorge se rencontrent; alors la rupture a lieu, et une petite portion d'eau reste adhérente au disque.

Si l'on mettait une surface conique en contact avec le liquide, l'angle de contact atteindrait bien plus tôt à son maximum d'acuité que dans le cas des disques plans, et la quantité d'eau soulevée serait d'autant moindre que le cône serait plus aigu ; ceci est trop facile à concevoir pour qu'il soit nécessaire de rapporter les expériences qui ont été faites pour le constater.

Les expériences précédentes n'indiquant pas la plus grande élévation des disques, on en a fait pour examiner directement cette partie du phénomène. Dans ce but, on a usé de deux procédés également satisfaisants. Le premier consistait à fixer à la vis même d'un sphéromètre le disque dont on voulait faire usage, de manière à pouvoir, au moyen de cette vis, l'écarter graduellement de la surface de l'eau. Le second consistait à fixer le disque bien horizontalement au-dessus d'un vase que l'on remplissait d'eau jusqu'à ce que le contact fût établi ; une pointe, fixée verticalement à une verge horizontale que l'on avait ajoutée au cathétomètre, indiquait le niveau. Alors, après avoir retiré lentement l'eau du vase, jusqu'à ce que celle qui adhérait au disque commençât à s'en détacher, on descendait la pointe jusqu'au niveau de l'eau du vase, et l'on avait ainsi la hauteur de la colonne soulevée.

La seule difficulté à surmonter dans cette manœuvre

était de déterminer exactement la coïncidence de la surface plane du disque avec celle de l'eau : à cet effet, on plaçait une règle au-dessus du vase, et lorsque son image réfléchie paraissait exactement droite sur le liquide et près des bords du disque, on était assuré que le disque affleurait alors la surface de l'eau.

TEMPÉRATURE, 20 DEGRÉS.

DIAMÈTRE DES DISQUES.	HAUTEUR MAXIMUM DU LIQUIDE.			
mm				
162,0				
108,0				
76,5	mm 4,96	mm 4,76	mm 4,94	mm 4,82
67,5				
54,0				
41,0	4,54	4,47		
27,0	4,45	4,40		
14,5	4,10	3,98		
8,15	3,58	3,63		
4,00	3,192	3,190		
2,25	1,90			
Fil de verre très-fin. ...	0,22			
Aiguille très-fine.....	0,08			

Ainsi, l'élévation est sensiblement la même pour les cinq premiers disques, quoique le diamètre du dernier ne soit que le tiers de celui du premier; cette élévation, qui est d'à peu près 5 millimètres, commence à diminuer pour les disques de 40 à 50 millimètres de diamètre, et devient presque nulle lorsque le contact n'a lieu que par une surface extrêmement petite. Il sera facile de se rendre compte de ces deux circonstances, quand on aura vu ce qui se passe lorsqu'une partie d'une surface liquide est abaissée au dessous de son niveau.

Des surfaces planes, carrées et triangulaires, ont donné des résultats analogues.

La nature du liquide, comme on peut le prévoir, influe beaucoup sur la quantité dont les disques peuvent être

élevés. Ainsi, l'élévation étant 1 pour l'eau, elle a été trouvée, pour l'huile d'olives, de 0,68; pour l'huile de naphte, de 0,59; pour l'alcool, de 0,55; pour l'éther, de 0,44 : nombres qui ne s'accordent pas avec ceux qui représentent les rapports de densité de ces liquides.

En recherchant si la nature de la surface avait une influence sur l'élévation, on a trouvé que des surfaces de métal, de bois ou de verre, donnaient toutes le même résultat; cependant, si elles étaient enduites préalablement d'un corps gras, l'élévation était beaucoup diminuée et sujette à d'assez grandes variations. Enfin, pour dernier moyen de comparaison, on a remplacé le disque par un tube à bord tranchant et rempli d'eau, de sorte qu'il pouvait être considéré comme une surface liquide dont le pourtour seul était solide. Ce tube, préalablement fixé à la tige du sphéromètre, plongeait dans un vase également rempli d'eau. En tournant lentement la vis de l'instrument, on parvenait à soulever le tube au point le plus élevé qu'il pût atteindre sans se vider; alors on déterminait le niveau dans le vase au moyen d'une pointe effilée, et, après avoir vidé le tube, on le faisait descendre jusqu'au contact du liquide. Cette expérience, répétée avec des tubes de verre et de cuivre de différents diamètres, a présenté une élévation égale à celle que l'on avait obtenue avec les disques.

On a cru devoir aussi examiner si ce mode d'adhésion ne présentait pas quelque particularité dans le vide. On a donc produit l'élévation sous un récipient de machine pneumatique, au moyen d'une tige à laquelle le disque était mastiqué, et, en prenant toutes les précautions nécessaires pour que ce disque conservât son horizontalité, on a pu s'assurer que la pression atmosphérique n'avait aucune influence sur ce phénomène.

Il eût sans doute été fort utile d'étudier la forme de la courbure, qui joue ici un rôle si important; mais la diversité des résultats que l'on a obtenus oblige de s'abstenir de toute conséquence.

Dépression produite par un disque sur une surface liquide.

Si l'on examine ce qui se passe lorsqu'une partie d'une surface liquide est déprimée, au-dessous de son niveau, par un plan solide, on retrouve, mais dans un ordre inverse, les mêmes circonstances que pour le cas où une couche de liquide est, au contraire, soulevée par des plans qui tendent à s'en séparer. On considérera donc également ici quel est le poids maximum qu'un disque peut supporter avant d'être submergé, et quelle est la hauteur de la dépression correspondante.

Pour faire ces expériences, un disque portant à son centre une tige qui servait à le suspendre à une balance, était plongé dans l'eau d'un vase jusqu'à ce que sa surface supérieure fût dans le même plan que la surface liquide. Le disque était maintenu dans cette position au moyen de contre-poids. Alors on ajoutait des poids du côté du disque jusqu'à ce qu'il fût enfoncé, autant qu'il pouvait l'être, sans que l'eau le recouvrît. Par cette disposition, on pouvait aussi mesurer la hauteur de la dépression, en prenant la distance entre le niveau de l'eau et le plan du disque, au moyen d'une pointe dirigée verticalement et liée à un système se mouvant le long d'une règle verticale divisée et armée d'un vernier; mais lorsqu'on a voulu seulement mesurer la hauteur de la dépression, on a préféré, comme moyen plus sûr, assujettir le disque horizontalement dans un vase que l'on remplissait ensuite d'eau avec précaution, jusqu'à ce qu'elle fût sur le point de s'avancer sur le disque. L'élévation au-dessus du disque pouvait ainsi être prise d'une manière rigoureuse.

Lorsque la dépression commence à se prononcer, le liquide forme autour du disque une courbure qui produit un angle obtus à sa rencontre avec le disque, tandis que, de l'autre côté, elle s'étend sur la surface de l'eau. La dépression augmentant, la courbure s'étend plus loin sur le li-

quide, et l'angle de contact devient droit; puis, enfin, il devient aigu, le liquide faisant une saillie arrondie au-dessus du disque. Lorsque la dépression a atteint son maximum de hauteur, si l'on ajoute une petite quantité d'eau, ce liquide s'avance sur le disque en le recouvrant et en conservant la même disposition arrondie, jusqu'à l'instant où la partie saillante de la courbure rencontre la partie saillante qui lui est diamétralement opposée. Alors le niveau s'établit sur toute la surface du liquide, et il ne reste, pour trace du phénomène, qu'une petite bulle d'air fixée sur le disque; ce qui prouve que lorsque le contact s'est établi par la partie saillante de la courbure, la partie qui adhérait au disque était encore en arrière de quelques fractions de millimètre.

TEMPÉRATURE, 24 DEGRÉS.

DIAMÈTRES des disques.	MAXIMUM des poids avant la submersion.	HAUTEUR de la dépression.
mm	gr	mm
135,55	54,00	3,63
108,00	33,00	3,66
76,85	18,50	3,50
67,35	15,00	3,60
54,30	9,00	3,48
41,10	5,50	3,40
37,00	4,95	3,40
27,10	2,50	2,80
14,80	0,80	2,80
8,20	0,285	2,52
4,10	"	2,28
2,30	"	1,68
1,90	"	1,43
1,65	"	1,18
1,35	"	1,04
1,20	"	0,98
1,00	"	0,90
0,70	"	0,70
0,50	"	0,50

Il résulte de ces expériences que les poids supportés sont proportionnels aux surfaces des disques, tant que la hauteur de la dépression reste la même; mais on remarque ici, comme dans le cas de l'élévation, que l'action réciproque des molécules liquides qui forment la partie saillante de la courbure, tend d'autant plus à rapprocher ces molécules que la ligne circulaire qu'elles occupent a un plus petit diamètre : ce qui, en rendant plus aigu l'angle rentrant que fait le liquide avec le plan du disque, favorise la submersion de celui-ci. Comme dans le cas où le liquide est soulevé par des plans, c'est encore ici pour des disques de 50 millimètres environ, que cette action latérale des molécules commence à se faire sentir.

Par la comparaison de ce tableau avec celui qui est relatif à la séparation des plans, page 23, on voit que, pour les mêmes diamètres, les poids qui produisent la dépression sont plus faibles que ceux de la séparation; d'où l'on doit, par conséquent, conclure que la hauteur de la colonne soulevée est plus grande que celle de la colonne abaissée; et il en doit être ainsi, parce que, dans le dernier cas, la partie saillante de la courbure est portée en bas par l'action de la pesanteur qui diminue ainsi l'angle de contact et favorise la marche du liquide sur le disque, tandis que le contraire a lieu dans l'élévation.

L'expérience suivante, plus simple et aussi claire, démontre que les molécules liquides, disposées sur une ligne circulaire, ont une tendance à resserrer l'espace qu'elles circonscrivent, et cela d'une manière d'autant plus prononcée que cet espace est plus petit. Si l'on recouvre d'une mince couche d'eau un plan horizontal, en y conservant libres des espaces circulaires de différents diamètres, et qu'ensuite on augmente cette couche d'eau d'une très-faible quantité, on voit aussitôt les plus petits cercles se recouvrir de liquide, en laissant à leur centre la petite bulle d'air dont il a été question; tandis qu'il faut ajouter une nouvelle

quantité d'eau pour faire disparaître les plus grands cercles. On remarque en même temps que le resserrement des cercles, une fois commencé, ne s'arrête jamais, et, qu'au contraire, il devient plus rapide à mesure que le diamètre diminue. Au moyen des divisions que l'on avait tracées sur le plan de cuivre, on a pu mesurer les diamètres des cercles; et, en prenant la distance entre le plan et le niveau du liquide, on a pu déterminer quelle était la hauteur de la dépression qui correspondait à des cercles de divers diamètres. On a obtenu ainsi des nombres qui s'accordent parfaitement avec ceux du tableau précédent, et que, par cette raison, il est inutile de rapporter ici.

Il sera maintenant facile de comprendre pourquoi un disque de métal, plan et mince, peut flotter sur l'eau; il suffira que son poids ne soit pas plus considérable que celui du volume d'eau déplacé par le disque lui-même et par la dépression qu'il produit. On s'abstiendra donc de rapporter diverses expériences qui ont été faites sur des disques de métaux différents, et qui ne peuvent plus ajouter de nouveaux éclaircissements à ce qui a été exposé.

De ce que la hauteur de la dépression décroît à mesure que le diamètre des disques diminue, il semble qu'il devrait résulter que l'épaisseur de disques qui flotteraient sur l'eau devrait également diminuer à mesure que leur diamètre devient plus petit, de sorte qu'un plan de métal, ayant une fraction de millimètre de diamètre, ne pourrait avoir qu'une épaisseur extrêmement minime; cependant, comme l'expérience prouve le contraire, il devient nécessaire de présenter une explication de cette dernière particularité.

On peut décomposer en deux parties l'espace vide qui forme la dépression, l'une cylindrique, ayant le disque pour base, et l'autre qui est comprise entre ce cylindre et la courbure du liquide : cette dernière partie de la dépression, qui n'en est qu'une très-faible portion lorsque les disques ont

un grand diamètre, en devient, au contraire, la partie la plus considérable quand le diamètre du disque est très-petit; de sorte que, dans ce dernier cas, bien que la hauteur de la dépression soit moindre, l'épaisseur du disque peut néanmoins être augmentée de la quantité correspondante au poids de l'eau que contiendrait cet espace compris entre la portion cylindrique de la dépression et la courbure du liquide. Ainsi, en prenant pour exemple un diamètre extrêmement petit, tel que celui d'un fil de métal assez fin, on pourra laisser à ce fil une longueur de plusieurs millimètres, et on le verra rester suspendu verticalement à la surface de l'eau. La difficulté de suspendre ainsi des fils métalliques dans l'eau, en leur laissant la plus grande longueur possible, a obligé, pour présenter quelques opérations comparables entre elles, à employer le mercure comme liquide, et le platine comme corps plus dense.

Fils de platine suspendus verticalement dans le mercure.

DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	POIDS dans l'air.	POIDS dans le mercure	FORCE correspondante à la dépression.
mm	mm			
3,805	8,00	1,975	0,700	1,275
1,200	19,50	0,475	0,155	0,320
1,050	21,50	0,425	0,145	0,280
0,855	25,35	0,355	0,120	0,235

Ce que l'on vient de dire sert aussi d'explication à cette expérience vulgairement connue, et qui consiste à faire flotter sur l'eau une aiguille d'acier ou d'autre métal. On a supposé que ces corps surnageaient parce qu'ils étaient recouverts d'une enveloppe d'air qui leur était adhérente et qui les rendait plus légers, ou qui, du moins, les empêchait d'être mouillés. Mais cette expérience, qui réussit également dans le vide de la machine pneumatique, s'explique naturellement par ce qui a été exposé précédemment.

Les fils de cuivre les plus gros qu'on ait pu faire flotter sur l'eau avaient $1^{mm},25$ de diamètre, et il fallait en relever les extrémités pour qu'elles ne pénétrassent pas dans le liquide.

Il y a certains liquides sur lesquels on tenterait vainement de faire cette expérience; ce sont, en général, ceux qui s'évaporent rapidement. Tous les corps mis à la surface de l'huile de naphte sont immédiatement recouverts par ce liquide; du papier même est précipité au fond, et il s'en dégage l'air qui était renfermé dans ses pores. Ce liquide a encore d'autres caractères particuliers qui méritent d'être mentionnés. Ainsi, tandis que de l'eau, de l'huile d'olive, de l'alcool, de l'éther muriatique, s'étendent à peu près autant l'un que l'autre sur une lame de verre, une goutte d'huile de naphte se répand en se dispersant, et forme un cercle de 2 centimètres environ, dont la circonférence présente une espèce de chapelet par l'accumulation du liquide. Sur de l'eau, sur de l'huile ou sur du mercure, une goutte de naphte fait de très-beaux anneaux colorés.

Par la même raison qu'un corps peut flotter sur un liquide de moindre densité que la sienne, un corps léger peut être fixé au fond d'un vase rempli d'un liquide d'une plus grande densité; un fil de laiton de 5 millimètres de diamètre peut adhérer au fond d'un vase rempli de mercure, et si ce vase est de verre, on voit que le mercure n'occupe pas l'angle rentrant formé par le cylindre et la paroi du vase, et qu'il y a là un vide produit par la courbure du liquide. Si l'on avait préalablement frotté avec du mercure la surface du cylindre, il ne serait plus possible de fixer ce fil de laiton au fond du vase.

Ce ne sont pas seulement des corps solides qu'on peut faire flotter sur des liquides de plus faible densité, on peut aussi superposer un liquide dense sur un autre qui l'est moins. Ainsi une goutte d'eau d'environ 1 centimètre de diamètre peut surnager sur de l'huile, en y faisant une dépression très-prononcée. Si l'on ajoute encore une petite

quantité d'eau, la goutte descend au fond du vase, affectant la forme d'une grosse ampoule, forme qu'elle conserve pendant quelques instants, après quoi elle se crève. Un globule de mercure peut être placé sur la goutte d'eau qui flotte sur l'huile, et si l'on en mouille le mercure, il tombe dans l'eau, jusqu'à la rencontre de l'huile; et là il forme une dépression dans laquelle il est fixé par l'adhésion de l'eau ou de l'huile. Dans aucun de ces cas on ne remarque le dégagement d'aucune bulle d'air; on ne peut, par conséquent, pas admettre que ce globule de mercure ou cette vésicule d'eau soient environnés d'une couche d'air, si mince qu'on veuille la supposer. Il faut uniquement reconnaître, dans tous ces phénomènes, l'action de l'adhésion des molécules, la résistance d'une surface liquide à se laisser pénétrer.

Les faits contenus dans ce travail conduisent aux résultats suivants :

1°. On ne peut admettre que la hauteur de la colonne d'eau dans les tubes capillaires soit en raison inverse de leur diamètre; et, pour exprimer la marche du phénomène d'une manière plus exacte, il faudrait dire que l'*ascension est en raison inverse des diamètres, en ajoutant à la colonne d'eau une quantité qui décroît à mesure que l'on considère des tubes plus étroits.*

2°. La hauteur à laquelle s'élève un liquide entre des glaces parallèles, comparée à celle à laquelle il s'élève dans des tubes, au lieu d'être dans le rapport de 1 à 2, comme on l'admet, est dans celui de 1 à 3, ou mieux, dans le rapport du diamètre à la circonférence.

3°. Ainsi qu'on l'avait déjà observé, les variations de température influent d'une manière remarquable sur l'élévation de l'eau dans les tubes capillaires et entre des glaces parallèles; mais, de plus, l'expérience montre que les hauteurs de la colonne dans un même tube plongé successive-

ment dans de l'eau à 0 et à 100 degrés, sont sensiblement entre elles comme 4 est à 3. Cette influence s'observe également dans tous les cas où, par une cause quelconque, la surface d'un liquide cesse d'être plane.

4°. Lors de l'adhésion produite entre deux plans, au moyen d'une couche d'eau interposée, la résistance à la séparation pour des disques égaux est en raison inverse de l'épaisseur de la couche d'eau, et pour des disques de diamètres différents, ayant un écart égal, elle est proportionnelle aux surfaces des disques. De plus, le poids qui produit la séparation des disques est égal à celui d'une colonne d'eau de même diamètre que les disques, et dont la hauteur est égale à la hauteur à laquelle l'eau s'élève entre deux glaces parallèles dont l'écart est le même que celui des disques.

5°. Lorsqu'on soulève un disque horizontal en contact avec une surface d'eau, ce disque entraîne le liquide et le soulève jusqu'à une hauteur de 5 millimètres pour la température 0 degré, et pour des diamètres qui aient plus de 50 millimètres; mais, pour des diamètres moindres, la hauteur du cylindre d'eau soulevée diminue d'autant plus que le diamètre du disque est plus petit.

6°. La dépression produite sur une surface d'eau par un disque qui y est enfoncé, reproduit en sens inverse toutes les circonstances de l'élévation, mais en tenant compte de l'action de la pesanteur sur la saillie que forme le liquide au-dessus du disque, et qui a pour résultat de rendre la hauteur de la dépression moindre que celle de l'élévation.

7°. Des fils, des lames planes d'un contour quelconque et d'un poids spécifique beaucoup plus grand que celui de l'eau peuvent flotter sur ce liquide, pourvu que leur poids ne surpasse pas celui du volume d'eau déprimé. La longueur ou le poids des fils plongeant verticalement peut être augmenté à mesure que leur diamètre décroît; de sorte qu'un mince fil de métal ou de substance dense peut flotter verticalement dans un liquide d'une moindre densité. Par la

même raison, des liquides plus denses peuvent surnager sur des liquides qui le sont moins. Au contraire, des corps d'une densité inférieure à celle des liquides dans lesquels ils sont plongés, peuvent rester adhérents à la surface inférieure de ces liquides, pourvu que la nature de ces corps soit telle, qu'ils ne puissent pas en être mouillés.

Ainsi on doit considérer une surface liquide comme opposant à la pénétration une résistance qui est produite par la force avec laquelle les molécules liquides adhèrent les unes aux autres.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA VÉGÉTATION DES PLANTES SUBMERGÉES;

PAR MM. S. CLOËZ ET P. GRATIOLET.

Vers le milieu du dernier siècle, Bonnet fit de nombreuses expériences sur l'usage des feuilles; il remarqua, entre autres choses, que les feuilles des végétaux, placées dans l'eau, se couvraient de bulles d'air, surtout à leur face inférieure, quand on les exposait au soleil. Ces observations, ingénieusement variées, ne le conduisirent cependant qu'à des interprétations inexactes sur la nature de cet intéressant phénomène; elles furent stériles jusqu'au moment où Priestley eut annoncé que les plantes avaient la faculté de rendre à l'air, vicié par la respiration des animaux ou la combustion d'une bougie, sa pureté primitive. Cette observation, qui révélait aux hommes une des plus belles harmonies de la nature, fut accueillie avec l'enthousiasme dont elle était digne; toutefois, cette grande découverte était en quelque sorte restée à l'état d'hypothèse. Priestley, en effet, avait remarqué, dans les résultats de ses expériences, certaines contradictions demeurées, pour lui, comme une énigme.

Admirateur des découvertes de Priestley, Ingen-Housz entreprit de résoudre ce paradoxe; il fit de nombreuses expériences dans lesquelles il rapprochait en quelque sorte Bonnet de Priestley, empruntant à l'un ce qui manquait à l'autre. C'est ainsi qu'il constata que cette faculté d'épuration, indiquée par Priestley, n'appartenait qu'aux parties vertes des plantes et qu'elle ne s'exerçait que sous l'influence de la lumière solaire. Il admit, en outre, que hors de cette influence, non-seulement les plantes n'amélioraient pas l'air vicié, mais ajoutaient à ses mauvaises qualités.

Pour compléter ces belles observations, il fallait rechercher par quels procédés secrets ces phénomènes s'accomplissent; il fallait dire ce que les végétaux, exposés à la lumière du soleil, empruntent ou donnent à l'atmosphère viciée pour lui rendre sa pureté primitive. Sennebier entreprit de résoudre ce problème; il constata, par des expériences nombreuses et très-bien faites, que les parties vertes des plantes épurent l'air vicié par la combustion d'une bougie ou par la respiration des animaux, en lui empruntant de l'acide carbonique et en lui rendant de l'oxygène. Ainsi, la nature du phénomène était expliquée; toutefois, il pouvait être utile d'en envisager la manifestation dans ses rapports avec les autres fonctions qui composent la vie des végétaux : c'est ce que l'illustre Th. de Saussure fit avec un succès que tous les physiciens se sont plu à reconnaître. De Saussure essaya de déterminer le rapport qui existe entre le volume du gaz acide carbonique absorbé et celui de l'oxygène exhalé; or toujours, dans ses expériences, le volume de l'oxygène dégagé demeura inférieur à celui de l'acide carbonique absorbé : mais, en revanche, la portion d'oxygène retenue par la plante était remplacée, dans le produit exhalé, par un volume à peu près égal de gaz azote.

Les résultats des expériences de Saussure l'ont porté à

admettre que tout l'oxygène dégagé provient de l'acide carbonique absorbé, mais qu'il y a une partie de l'oxygène de cet acide assimilé par le végétal. Saussure admit, en outre, qu'il y a constamment de l'azote exhalé, et que cet azote provient de la substance même de la plante.

Ainsi qu'on le voit, Th. de Saussure, dans l'histoire de ce phénomène, ne fait jouer à l'eau aucun rôle; il appartenait à M. Boussingault d'introduire ce nouvel élément dans la discussion du problème.

Suivant les vues profondes de ce célèbre chimiste, l'oxygène exhalé par la plante peut provenir de la décomposition simultanée de l'acide carbonique et de l'eau. M. Boussingault a constaté, en outre, par des expériences fort exactes, que certains végétaux, et plus particulièrement certaines légumineuses, peuvent emprunter à l'atmosphère une portion de l'azote qu'elles assimilent.

La nutrition des végétaux est, à coup sûr, un des points les plus intéressants de leur histoire. La lecture des expériences que nous venons de rappeler avait vivement piqué notre curiosité, nous en répétâmes quelques-unes. Or, dans le cours de nos recherches, ayant exposé au soleil, dans de l'eau naturelle tenant de l'acide carbonique en dissolution, quelques plantes aquatiques submergées, nous remarquâmes, non sans surprise, que ces végétaux dégagent, sous l'influence de la lumière solaire, une énorme proportion d'oxygène. Cette production, presque insensible dans les végétaux aériens, et que l'analyse seule rend visible à l'esprit, devenait ici palpable; on pouvait en suivre les différentes phases, l'œil en percevait les moindres accidents, et rien ici ne pouvait nous induire en erreur, puisque nous observions des plantes saines placées dans les conditions normales de leur existence. Ces plantes nous fournissaient donc une occasion de répéter, avec les plus grandes chances de succès et d'exactitude, les curieuses expériences de Bonnet, de Priestley, d'Ingen-Housz, de

Sennebier et de Saussure. Nous entreprîmes dès lors, au Muséum d'histoire naturelle, dans le laboratoire de M. Chevreul, et sous ses généreux auspices, une longue série d'expériences que le malheur des temps et la difficulté du sujet ont souvent interrompues, mais auxquelles nous avons toujours été ramenés par un attrait irrésistible.

Comme il arrive toujours dans ce genre de recherches, les expériences instituées pour résoudre une première question font naître des questions nouvelles, l'horizon s'agrandit sans cesse aux yeux du physiologiste; on concevra donc sans peine comment nos recherches sont encore bien loin d'être terminées : mais, chemin faisant, nous avons fait quelques remarques qui nous ont paru intéressantes, et nous avons cru devoir les soumettre, dès à présent, au jugement des physiologistes.

Il suffit de placer quelques feuilles d'une plante aquatique submergée, d'une espèce de *Potamogeton* ou de *Nayas* par exemple, dans une longue éprouvette à gaz remplie d'eau chargée d'acide carbonique et renversée sur une soucoupe, d'exposer ensuite l'appareil au soleil, pour voir à l'instant se dégager, de la surface des feuilles, une infinité de petites bulles qu'on reconnaît ensuite aisément pour de l'oxygène presque pur. Cet appareil si simple est fort commode pour la démonstration vulgaire du phénomène de la réduction de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes, mais il ne suffit plus lorsqu'on veut connaître avec précision les différentes circonstances que ce phénomène présente.

L'appareil que nous avons employé dans la plupart de nos expériences offre de nombreux avantages, quoiqu'il soit aussi d'une grande simplicité. Il consiste en un flacon de verre blanc, de 4 à 10 litres de capacité, soigneusement fermé par un bouchon de liége percé de deux trous auxquels deux tubes de verre sont adaptés; l'un de ces tubes est droit et plonge jusqu'au fond du flacon : il est destiné

au renouvellement du liquide dans l'intérieur du vase. Le second tube est recourbé et sert à recueillir les gaz; l'extrémité du tube adapté au flacon affleure la partie la plus élevée d'un tronc de cône creusé dans la face inférieure du bouchon : cette disposition a pour but de recueillir facilement les plus petites quantités du gaz exhalé dont on détermine la sortie en versant de l'eau par le tube droit.

Nous avons fait, avec un appareil ainsi disposé, une expérience préliminaire dont les résultats peuvent donner une idée de la rapidité avec laquelle les plantes aquatiques décomposent l'acide carbonique; nous croyons qu'il est utile de la consigner ici.

Le 3 septembre 1848, par un beau temps, le thermomètre marquant à l'ombre 21 degrés, nous soumîmes à l'expérience six tiges de *Potamogeton perfoliatum* récoltées le même jour dans la Seine et conservées dans de l'eau; la longueur totale de ces tiges était de $3^{m},45$: elles étaient munies de cent quarante-trois feuilles et occupaient un volume de 160 centimètres cubes.

Ces tiges furent placées dans un flacon de 6 litres rempli d'eau commune fortement imprégnée de gaz acide carbonique. L'appareil, disposé comme nous l'avons indiqué plus haut, fut exposé au soleil; la décomposition commença aussitôt, et nous vîmes une quantité innombrable de petites bulles monter à la partie supérieure du flacon, se rassembler au sommet du tronc de cône creusé dans la partie inférieure du bouchon, et s'échapper par le tube de dégagement. L'expérience fut continuée pendant cinq heures ce jour-là et une partie de la journée du lendemain; l'eau du flacon fut renouvelée au commencement du second jour.

Le gaz exhalé par les tiges fut entièrement recueilli. A mesure que les éprouvettes s'emplissaient, on faisait passer le gaz qu'elles contenaient dans une grande cloche

graduée. A la fin de l'expérience, dont la durée a été de dix heures, le volume du gaz exhalé, mesuré à la température de 15 degrés et sous la pression de $0^{m},761$ de mercure, était de $2^{lit},35$, ce qui fait à peu près quinze fois le volume de la plante soumise à l'expérience.

Le gaz produit dans cette expérience présentait les propriétés de l'oxygène; il était cependant mélangé d'une certaine quantité d'azote, et il contenait, en outre, un peu d'acide carbonique. Pour l'analyser, nous en avons introduit un volume déterminé dans un tube contenant une dissolution concentrée de potasse destinée à l'absorption de l'acide carbonique; le résidu gazeux a été mis en présence d'une lame de cuivre enveloppée d'amiante et plongeant dans de l'acide chlorhydrique étendu de son propre volume d'eau. Au bout de quelques heures tout l'oxygène a été absorbé; mais, pour être sûrs que l'absorption était complète, nous avons attendu douze heures avant de mesurer de nouveau le gaz restant, qui était de l'azote pur.

Nous avons trouvé, par ce procédé suffisamment exact pour l'objet que nous avions en vue, en ayant soin cependant de noter la température et la hauteur du baromètre au moment où les gaz étaient mesurés, que 100 parties du mélange gazeux exhalé par la plante contenaient en volume :

Oxygène.....	87,50
Azote.....	11,25
Acide carbonique.....	1,25
	100,00

Cette expérience préliminaire, que nous avons plusieurs fois répétée, et toujours avec des résultats analogues, nous révélait plusieurs faits constants : 1° l'influence de l'intensité de la lumière; 2° l'influence de la température; 3° la production d'un mélange gazeux dont il fallait chercher la source; et 4° enfin, nous étions conduits par elle à recher-

cher l'influence des milieux ambiants sur la production du phénomène. Ces faits soulèvent plusieurs questions fondamentales, que nous allons successivement essayer de résoudre.

Influence de la lumière.

Dans nos premiers essais il était facile de voir quelle influence l'intensité de la lumière solaire exerce sur la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes; l'ombre d'un léger nuage passant dans l'atmosphère suffisait pour ralentir aussitôt le dégagement, qui reprenait une activité soudaine après son passage. Nous avons essayé de donner à cette observation une précision plus grande, à l'aide d'une expérience très-simple, qui consiste à intercepter la lumière directe du soleil au moyen d'un écran; on voit aussitôt le dégagement se ralentir, et il devient bientôt insensible : la transition est d'ailleurs d'autant plus marquée que le soleil est plus ardent et le ciel plus pur. Quand on enlève l'écran, le dégagement gazeux reprend soudain son activité première; l'action de la lumière solaire est donc presque instantanée.

La décomposition de l'acide carbonique par les plantes ne s'arrête point complétement à la lumière diffuse, mais elle est très-lente; elle ne s'effectue pas dans l'obscurité complète.

Les résultats que nous avons obtenus en plaçant des plantes dans l'obscurité, ne sont point complétement d'accord avec les expériences d'Ingen-Housz. On admet généralement, depuis ce physiologiste, que les plantes placées dans l'obscurité vicient l'air en exhalant de l'acide carbonique. Nos expériences, faites sur des plantes aquatiques, nous ont conduits à un résultat tout à fait opposé.

Ces expériences sont nettes et faciles à répéter. Nos appareils consistaient en flacons de 4 litres de capacité, dont l'ouverture était usée à la meule et parfaitement dressée, afin d'y pouvoir appliquer exactement un obturateur en verre. Ces flacons étaient remplis d'eau distillée aérée,

mais ne contenant pas d'acide carbonique. Les plantes destinées à l'expérience étaient lavées avec soin dans l'eau pure, et, après les avoir introduites dans les flacons, on appliquait sur leur ouverture l'obturateur enduit d'un corps gras, afin d'empêcher tout contact avec l'atmosphère.

Nous avons opéré à la fois sur cinq espèces de plantes différentes, savoir : le *Potamogeton perfoliatum,* le *Potamogeton crispum,* le *Ceratophyllum submersum,* le *Myriophyllum spicatum,* et, enfin, le *Nayas maxima.*

Les choses étant ainsi disposées, on plaçait les flacons dans une obscurité complète; au bout de vingt-quatre heures on essayait, avec de l'eau de baryte, l'eau de chacun des flacons mis en expérience : ce réactif n'a accusé dans aucun cas la présence de la plus petite trace d'acide carbonique.

Les appareils sont restés dans l'obscurité pendant huit jours consécutifs, vers la fin de juillet 1848, par une température moyenne de 17 à 18 degrés, c'est-à-dire sous une température très-favorable à la végétation de ces plantes. Chaque jour l'eau des flacons était essayée au moyen de la dissolution de baryte, et, à la fin de l'expérience, nous n'avons pas trouvé plus d'acide carbonique qu'au commencement.

Il demeure donc prouvé pour nous que les plantes aquatiques ne fournissent point d'acide carbonique dans l'obscurité. En admettant l'exactitude des expériences d'Ingen-Housz et de Saussure, exactitude dont il n'est guère permis de douter, nous remarquons entre les résultats de ces expériences et les nôtres, une contradiction que des expériences ultérieures pourront résoudre. Il est probable, en effet, que l'acide carbonique, exhalé dans l'obscurité par les plantes aériennes, n'est pas produit directement par un acte analogue à la respiration des animaux, par une combustion du carbone de la plante, au moyen de l'oxygène, mais provient des liquides absorbés par le végétal, soit que la plante, demeurant fixée au sol, continue à lui emprunter de l'eau toujours plus ou moins chargée d'acide car-

bonique, soit que cette plante, détachée du sol, contienne dans ses cellules une grande quantité d'eau chargée d'acide carbonique non décomposé, et qui se dégage sous l'influence de l'absorption d'un nouveau gaz, comme cela a peut-être eu lieu dans quelques-unes des expériences de Saussure.

Pour nous résumer, nous dirons que, dans l'obscurité, les plantes aquatiques en contact avec une eau aérée ne donnent point d'acide carbonique. A la lumière solaire, ces mêmes plantes produisent un dégagement très-actif d'oxygène plus ou moins pur, selon l'intensité de la lumière et la quantité d'acide carbonique en dissolution dans l'eau.

Il nous a paru curieux de considérer de plus près cette intéressante question, et, après avoir examiné l'action de la lumière quant à son intensité, nous avons jugé utile de rechercher comparativement quelle influence pouvait avoir sur la production du phénomène la lumière modifiée par son passage à travers des verres de différentes couleurs. A cet effet, nous avons placé les appareils contenant les plantes sous des cages de verre ayant la forme de prismes à bases carrées de $0^m,25$ de côté sur $0^m,45$ de hauteur; nous avons pris six cages de cette grandeur, la première en verre incolore transparent, la deuxième en verre incolore dépoli, la troisième en verre jaune clair, la quatrième en verre coloré en rouge par l'oxydule de cuivre, la cinquième en verre vert, et la sixième en verre bleu. Les flacons employés dans nos expériences avaient 2 litres de capacité, ils étaient tous remplis d'eau commune contenant à peu près la moitié de son volume d'acide carbonique.

Nous avons mis tous nos soins à ce qu'il y eût, dans chaque flacon, le même nombre de feuilles douées de la même force de végétation, et présentant en somme la même surface. Pour atteindre ce but, nous choisissions une tige de *Potamogeton perfoliatum* bien vivace et garnie d'une vingtaine de feuilles; nous séparions la partie radiculaire et l'extrémité terminale de la plante où les feuilles sont

Résultats des expériences comparatives faites sur la végétation du Potamogeton perfoliatum *sous des verres incolores et colorés.*

DURÉE des expériences.	NATURE DES VERRES.	TEMPÉRATURE de l'eau des flacons.	VOLUME du gaz recueilli, exprimé en cent. cub. à 0°, et sous la pression de 0m,760.	COMPOSITION DU GAZ pour 100 parties en volume.			DÉDUCTION faite de l'acide carbonique. 100 volumes du gaz renferment	
				Acide carbonique	Oxygène.	Azote.	Oxygène.	Azote.
Le 29 juillet 1849 de 10h 45m à 2 h.	Verre incolore dépoli	30.75	49	20,41	59,08	20,41	74,37	25,63
	jaune	31. 0	45	17,77	60,00	22,22	72,97	27,03
	incolore transparent	34.50	30	23,33	48,34	28,33	63,05	36,95
	rouge	30.75	22	20,45	43,19	36,36	54,28	45,72
	vert	31. 0	19	18,43	42,10	39,47	51,61	48,39
	bleu	29.50	16	15,63	37,50	46,87	45,62	54,38
Le 2 août 1849, de 10h 15m à 2 h.	Verre incolore dépoli	35. 0	62	14,53	66,12	14,53	77,36	22,64
	jaune	35.50	56	12,50	66,07	21,43	75,52	24,48
	incolore transparent	42. 0	35	15,71	57,15	27,14	67,80	32,20
	rouge	34. 0	24	16,66	43,75	39,59	52,50	47,50
	vert	34. 7	22	15,91	43,18	40,91	51,36	48,64
	bleu	32. 2	15	13,33	40,00	56,67	46,16	53,84
Le 6 août 1849, de midi à 3h 30m.	Verre incolore dépoli	35. 8	110	10,91	70,00	19,09	78,58	21,42
	jaune	37. 0	95	10,52	69,47	20,01	77,65	22,35
	incolore transparent	41. 6	86	10,46	54,65	34,89	61,04	38,96
	rouge	34. 5	43	13,95	48,84	37,21	56,25	43,25
	vert	36. 2	30	16,66	43,33	40,00	52,00	48,00
	bleu	33. 5	23	17,39	34,78	47,83	42,10	57,90

Les deux dernières colonnes de ce tableau donnent la composition pour 100 parties en volume du gaz exhalé, abstraction faite de l'acide carbonique. Si l'on compare les nombres que ces colonnes renferment avec ceux qui représentent le volume de gaz recueilli, on voit de suite que le gaz exhalé dans un même temps, par une même quantité de plante, a une composition variable, et qu'il est d'autant plus riche en oxygène, que la réduction de l'acide carbonique par la plante a été plus active.

Les nombres qui représentent les volumes de gaz recueilli, comparés entre eux, indiquent en quelque sorte le degré d'influence que les verres colorés peuvent exercer sur l'activité du phénomène que nous étudions; ils montrent que le maximum d'action a lieu sous le verre incolore dépoli: le verre jaune vient ensuite, puis le verre incolore transparent, le verre rouge, le verre vert, et en dernier lieu le verre bleu.

On peut se demander si la température n'a pas eu la plus grande part d'action sur les résultats que nous avons obtenus; si l'on rapproche les nombres de la troisième colonne du tableau de ceux de la quatrième, on restera convaincu qu'il n'en est rien, car l'eau du flacon placé sous le verre incolore transparent a toujours eu, dans nos expériences, une température supérieure de plusieurs degrés à celle qui était accusée par le thermomètre sous le même verre dépoli, et cependant le volume de gaz recueilli a toujours été plus considérable sous ce dernier verre que sous le premier.

On conçoit comment, en étendant ces recherches aux végétaux aériens, on pourrait tirer de nos expériences des principes généraux applicables à la construction des serres.

Toutefois, nous ne pouvons le dissimuler, ces expériences ne peuvent résoudre qu'un côté de la question, le côté pratique; nous aurions voulu leur donner une précision plus grande en faisant végéter nos plantes sous les rayons même du spectre solaire, mais nous avons dû, jusqu'à nouvel

ordre, abandonner cette idée à cause des dépenses excessives qu'exigerait la construction d'un appareil convenable

Influence de la température.

Bonnet avait attribué le dégagement du gaz qui est exhalé des feuilles à l'élévation de température déterminée par les rayons solaires. Nos expériences, d'accord avec celles de nos devanciers, démontrent qu'une idée aussi exclusive est erronée; mais, après avoir fait à la lumière sa part dans la production du phénomène que nous étudions, il était nécessaire de déterminer aussi quelle est l'influence de la température.

Dans ce but, nous avons placé les appareils, remplis d'eau imprégnée d'acide carbonique où les plantes étaient contenues, dans un manchon de verre plein d'une eau limpide qu'on pouvait aisément refroidir en y ajoutant de la glace; un thermomètre, qui traversait le bouchon de l'appareil, était destiné à indiquer les moindres variations de la température.

En modifiant l'action de la glace, nous pouvions étudier alternativement l'influence de l'élévation de la température et l'influence de son abaissement.

1°. *Température ascendante.*

Nos appareils furent mis au soleil le 27 août 1848, l'eau des flacons ayant été ramenée, avant son exposition à la lumière, à la température de 4 degrés au-dessus de zéro.

Le dégagement du gaz fut d'abord complétement nul. Or, la température de l'eau des appareils s'élevant graduellement, quelques bulles commencèrent à paraître lorsque le thermomètre marqua 15 degrés. Le dégagement, d'abord très-faible, devint bientôt plus rapide à mesure que la température s'élevait, et il parut atteindre son maximum à 30 degrés.

Cette expérience fut plusieurs fois répétée, et nous fûmes

convaincus que le dégagement des gaz ne commence point au-dessous d'une certaine température.

2°. *Température descendante.*

L'eau des appareils ayant été ainsi portée à 30 degrés, nous amenâmes graduellement l'abaissement de la température, en ajoutant de la glace transparente dans les manchons. Le dégagement du gaz se fit d'abord avec une vitesse à peu près égale, mais il se ralentit peu à peu. Toutefois, nous remarquâmes avec étonnement qu'il continuait encore à 15 degrés avec une certaine activité, si bien que, se ralentissant toujours, il ne s'arrêta complétement qu'à 10 degrés.

Ces expériences peuvent donc se résumer ainsi : la décomposition de l'acide carbonique par les plantes aquatiques, exposées à la lumière solaire dans un milieu dont la température s'élève depuis + 4 degrés, ne commence point au-dessous de 15 degrés, et paraît atteindre son maximum à 30 degrés ; cette décomposition, dans un milieu dont la température s'abaisse depuis 30 degrés, continue encore à 14, 13, 12 et 11 degrés, et ne s'arrête complétement qu'à 10 degrés.

Ce fait, au point de vue de la physiologie générale, deviendra d'une grande importance si on le rapproche du résultat des observations faites par M. Chevreul sur la circulation et l'ascension des sucs dans les végétaux. Ce savant célèbre conclut, en effet, de ses expériences la proposition suivante : « Une fois que les causes extérieures ont déter-
» miné le mouvement des sucs dans les arbres, ces sucs,
» malgré un abaissement qui survient dans la température
» atmosphérique, continuent à se mouvoir pendant un
» certain temps, après lequel, si les circonstances exté-
» rieures continuent à n'être pas favorables à la végétation,
» leur mouvement se ralentit jusqu'à une époque où, les
» causes extérieures redevenant favorables, les sucs se

» mettent de nouveau en mouvement (*Journal des Sa-* » *vants,* mai 1822, page 302). »

Nous ne pouvons ici passer sous silence la contradiction qui semble exister entre nos observations et le fait avancé par M. Liebig; ce chimiste assure (*Traité de Chimie organique, introduction,* page LXXXI) que, pendant l'hiver, les parties vertes des plantes aquatiques enfermées sous la glace continuent à dégager de l'oxygène pur lorsqu'elles sont frappées par les rayons solaires; nous avons tenté plusieurs fois de renouveler cette observation pendant l'hiver de 1849, et toujours sans succès. Nous ne prétendons pas nier le fait avancé par M. Liebig; nous pensons, au contraire, qu'il y a là quelque inconnue qui exige des recherches et des observations nouvelles.

Influence de la composition des milieux ambiants.

L'acide carbonique est évidemment la condition principale et indispensable pour la production de l'oxygène par les plantes. Afin de mieux pénétrer dans la nature du phénomène, nous avons dû l'étudier dans quatre conditions différentes : 1° dans l'eau de rivière naturelle dans laquelle, outre l'acide carbonique, sont dissous des gaz et des sels; 2° dans l'eau de rivière privée de ses gaz par l'ébullition, mais qui a retenu les sels, et à laquelle on ajoute de l'acide carbonique; 3° dans de l'eau distillée aérée et contenant un peu d'acide carbonique en dissolution; 4° enfin dans de l'eau distillée non aérée à laquelle on ajoute un peu d'acide carbonique, et qui, par conséquent, ne contient plus ni air atmosphérique ni sels.

Résultats de la végétation des plantes aquatiques dans de l'eau naturelle renouvelée continuellement.

Nos expériences ont été faites à l'aide de l'appareil déjà décrit que traversait incessamment un courant d'eau puisée dans un réservoir supérieur. Afin d'éviter les erreurs qui

pouvaient résulter du mélange de bulles d'air entraînées par le courant avec les gaz produits par les plantes, nous avons dû placer entre l'appareil et le réservoir un grand flacon à deux tubulures aux quatre cinquièmes rempli d'eau; un tube s'enfonçant de 10 centimètres environ au-dessous de la surface de l'eau mettait, par la première tubulure, l'intérieur du flacon en rapport avec le réservoir, un second tube plongeant jusqu'au fond du flacon le reliait à l'appareil contenant les plantes. A l'aide de cette disposition, les bulles gazeuses qui pouvaient être entraînées par le premier tube étaient retenues à la partie supérieure du flacon, et l'eau seule arrivait par le second tube dans le reste de l'appareil.

Les plantes étant placées dans ces conditions, l'expérience fut continuée pendant six semaines sur trois espèces de plantes, savoir : le *Potamogeton perfoliatum,* le *Potamogeton lucens,* et le *Nayas maxima.* Au bout de ce temps, les plantes furent retrouvées parfaitement saines, parfaitement vivantes; elles avaient continué à végéter presque aussi bien que si elles avaient été fixées par leurs racines au sol, sous les eaux où elles vivent naturellement.

Dans les premiers temps, le gaz dégagé était recueilli et analysé chaque jour; le volume et la composition du mélange gazeux ainsi produit étaient variables pour toutes les plantes mises en expérience, selon l'intensité de la lumière, suivant que le ciel était plus ou moins pur, plus ou moins nébuleux. Toutefois, nous pûmes remarquer un fait constant, c'est que la quantité de gaz exhalé dans un temps égal était d'autant plus grande et d'autant plus riche en oxygène, que la lumière avait été plus vive. C'est ce qu'il est facile de voir par les analyses rapportées dans le tableau suivant :

NOMS DES PLANTES soumises à l'expérience.	ÉPOQUE de l'expérience où le gaz a été recueilli.	VOLUME du gaz recueilli.	100 PARTIES DU GAZ renferment en volume	
			Oxygène.	Azote.
Nayas maxima.....	1er jour.	138 cc	37,68	62,32
	2e jour.	127	36,85	63,15
	5e jour.	63	27,74	72,26
	6e jour.	116	32,65	67,35
	8e jour.	102	31,00	69,00
Potamogeton lucens.....	1er jour.	82	28,60	71,40
	2e jour.	74	27,28	72,72
	5e jour.	45	26,40	73,60
	6e jour.	76	28,72	71,28
	8e jour.	61	27,30	72,70
Potamogeton perfoliatum	1er jour.	107	36,21	63,79
	2e jour.	96	33,40	66,60
	5e jour.	54	27,00	73,00
	6e jour.	82	29,70	70,30
	8e jour.	69	28,34	71,66

Ce tableau montre que la quantité relative du gaz azote exhalé par la plante peut être très-grande; mais les expériences que nous venons de rapporter ne pouvaient rien nous apprendre sur la source de ce gaz. Il y avait là une question importante que nous allons essayer de résoudre dans les expériences qui vont suivre.

Résultats de la végétation des plantes aquatiques dans l'eau naturelle privée d'air par l'ébullition et légèrement imprégnée d'acide carbonique.

L'eau désaérée qui a servi à nos expériences contenait environ, pour 8 litres, un volume de 25 centilitres de gaz acide carbonique, gaz qu'on renouvelait au fur et à mesure que l'oxygène se dégageait, de telle façon que l'eau en contenait toujours à peu près la même quantité. Dans ce but, nous ajoutions, de temps en temps, une certaine quan-

tité d'eau privée d'air, et contenant une quantité d'acide carbonique déterminée à l'avance.

Le 30 juillet 1849 nous avons placé, dans des flacons remplis d'une eau ainsi préparée, huit tiges de *Potamogeton perfoliatum,* ayant ensemble $4^{m},80$ de longueur, et déplaçant 184 centimètres cubes d'eau.

Le premier et le second jour, quoique le temps fût couvert, le dégagement fut assez rapide. Le troisième jour, le temps fut très-beau, et le dégagement devint très-intense; mais, les jours suivants, malgré la continuation du beau temps, ce dégagement se ralentit beaucoup, et devint insensible le huitième jour. Au bout de ce temps, l'intensité de la couleur verte des plantes était singulièrement affaiblie; quelques parties des feuilles paraissaient même absolument décolorées.

Le volume du mélange gazeux, recueilli chaque jour, est indiqué dans la deuxième colonne du tableau suivant; la troisième et la quatrième colonne indiquent les proportions d'oxygène et d'azote pour 100 parties en volume du mélange; la dernière colonne indique en volume la quantité totale d'azote exhalé.

	VOLUME RECUEILLI exprimé en cent. cub. à 0° et à $0^{m},760$.	COMPOSITION pour 100 parties.		VOLUME total d'azote dégagé.
		Oxygène.	Azote.	
				cc
Premier jour.....	348	84,30	15,70	54,6
Deuxième jour.....	569	86,21	13,79	78,4
Troisième jour.....	624	88,00	12,00	74,8
Quatrième jour.....	315	89,74	10,26	32,3
Cinquième jour.....	226	90,47	9,53	21,5
Sixième jour.....	162	92,85	8,15	13,1
Septième jour.....	120	95,66	4,34	5,2
Huitième jour.....	86	97,10	2,90	2,5
Total.....				282,4

Ainsi les analyses démontrent : 1° que la quantité relative d'oxygène contenue dans le gaz exhalé va toujours en augmentant, en sorte que, à la fin de l'expérience, le gaz recueilli est de l'oxygène presque pur; 2° que le volume total de l'azote contenu dans les différents mélanges successivement recueillis est de beaucoup supérieur au volume de la plante.

Dans nos expériences, ce gaz ne pouvait provenir de l'eau qui en était dépourvue; il devait, par conséquent, être produit par la plante elle-même, et nous pouvions faire deux suppositions : en effet, ou bien la plante contenait de l'azote condensé dans ses lacunes, ou bien l'azote produit provenait de la décomposition de la substance même de la plante.

Afin de nous éclairer sur ces deux questions, nous avons essayé d'abord de déterminer la quantité d'azote libre normalement contenu dans la plante. Pour cela, nous avons placé, dans un ballon rempli d'eau saturée de sel marin, huit tiges fraîches de Potamogeton occupant un volume de 196 centimètres cubes. On a adapté au ballon, à l'aide d'un bouchon, un tube de dégagement également rempli d'eau salée, et allant se rendre au sommet d'une éprouvette graduée remplie d'eau, avec une petite quantité d'huile d'olive à la partie supérieure.

Or le volume du gaz dégagé par l'action de la chaleur, mesuré à 15 degrés, et sous la pression de $0^{m},761$, était de 59 centimètres cubes. Nous avons soumis ce gaz à l'analyse, et nous avons trouvé qu'il contenait, pour 100 parties en volume :

Acide carbonique.....	42,50
Azote.....	57,50
	100,00

ce qui fait à peu près 33 centimètres cubes d'azote, ou environ $\frac{1}{6}$ du volume de la plante.

Le volume d'azote *étant de beaucoup* inférieur au volume de la plante, on ne peut *pas admettre* que le gaz des interstices des tiges puisse être la source de la grande quantité d'azote recueilli dans les expériences précédentes ; il fallait chercher ailleurs cette source. C'est dans ce but que nous avons fait l'expérience suivante :

Vingt tiges de *Potamogeton perfoliatum,* également vivaces et à peu près égales en grandeur, ont été récoltées dans le même endroit de la Seine. Après les avoir bien lavées à l'eau distillée pour les débarrasser des matières étrangères, nous en avons fait deux parts. Dix tiges ont été immédiatement desséchées avec soin à une température de 110 degrés, réduites en poudre et conservées dans un flacon bouché. Les dix autres tiges ont été placées dans les appareils contenant de l'eau non aérée et imprégnée d'acide carbonique dans la proportion que nous avons indiquée plus haut. Au bout de six jours, le dégagement s'étant arrêté, les plantes ont été retirées des flacons, desséchées à leur tour, avec les mêmes précautions que les premières, et pulvérisées. Quant au gaz dégagé, nous aurions voulu le mesurer; mais un accident arrivé à la cloche où on le mesurait, ayant occasionné une perte considérable, il nous a été impossible de le faire. Heureusement ce n'était point là une chose absolument nécessaire.

Pour connaître la quantité d'azote contenu dans la poudre résultant de la plante séchée avant et après l'expérience, nous avons employé le procédé ordinaire d'analyse élémentaire organique.

Plante desséchée immédiatement après avoir été retirée de la Seine.

$0^{gr},753$ de la plante pulvérisée et séchée à 110 degrés ont laissé, par l'incinération dans une capsule de platine, 0,115 de résidu ; soit 15,28 pour 100.

$1^{gr},442$ de la même plante, brûlée par l'oxyde de cuivre, ont

fourni 54 centimètres cubes de gaz azote à la température de 24 degrés et sous la pression de $0^{m},766$; soit $0^{gr},064$ d'azote, ou 5,23 pour 100.

Plante desséchée après avoir végété pendant six jours au soleil, dans de l'eau non aérée, légèrement imprégnée d'acide carbonique.

$1^{gr},384$ de cette plante, pulvérisée, séchée à 110 degrés et incinérée dans une capsule de platine, ont laissé 0,183 de résidu; soit 13,25 pour 100.

$1^{gr},202$ de la même plante ont donné 39 centimètres cubes de gaz azote, à la température de 15 degrés et sous la pression de $0^{m},763$; soit $0^{gr},0458$ d'azote, ou 3,74 pour 100.

Ces analyses démontrent que la plante qui a végété dans de l'eau non aérée a perdu une quantité notable d'azote aux dépens de sa propre substance.

Si l'on rapproche cette déperdition d'azote de la décoloration partielle des plantes à la fin de l'expérience, on est tenté de supposer qu'il y a une certaine liaison entre l'exhalation de l'oxygène par la plante et la décomposition de quelque élément azoté, lié peut-être à la matière verte des feuilles. Nous nous proposons d'approfondir plus tard cette question, qui se rattache à d'autres questions importantes relatives à l'alimentation des animaux herbivores.

Résultats de la végétation des plantes aquatiques dans de l'eau distillée aérée ou non aérée, et contenant une petite quantité d'acide carbonique.

Les résultats des expériences dans l'eau distillée aérée ou non aérée, et contenant de l'acide carbonique, ont sensiblement été les mêmes, avec cette différence cependant que le dégagement d'oxygène a duré plus longtemps dans l'eau qui tenait de l'air en dissolution. Dans l'un et l'autre cas, les plantes ont blanchi rapidement. Une partie des sels qui entrait dans leur composition en a été séparée, et s'est trouvée

ensuite dans l'eau ambiante à l'état de dissolution; aussi les plantes soumises à ces expériences, desséchées à 110 degrés et incinérées, ont laissé moins de cendres qu'une égale quantité de la même plante qui n'avait pas été soumise à l'expérience.

Voici les résultats de l'analyse :

$0^{gr},910$ de *Potamogeton perfoliatum,* soumis à l'expérience dans l'eau distillée aérée, incinérés dans une capsule de platine, ont laissé 0,210 de résidu; soit 10,98 pour 100.

$1^{gr},068$ de la plante qui avait été soumise à l'expérience dans de l'eau distillée non aérée, ont fourni 0,116 de cendres; soit 10,86 pour 100.

Enfin, $0^{gr},950$ de la plante séchée en sortant des eaux où elle vit naturellement, et récoltée en même temps que les précédentes, ont donné 0,150 de résidu; soit 15,78 pour 100.

Si nous résumons rapidement les résultats généraux qui découlent des expériences que nous venons d'exposer, on sera convaincu que, d'une part, l'azote, et, d'autre part, les sels qui se trouvent en dissolution dans les eaux naturelles, ont une part nécessaire au dégagement de l'oxygène résultant de la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes aquatiques, non en contribuant directement à la production du phénomène, puisqu'il se manifeste d'abord avec une très-grande activité dans une eau qui ne contient que de l'acide carbonique, mais indirectement, en donnant aux plantes certains éléments nécessaires à la continuation de la vie végétale.

Ces résultats font encore soupçonner que cette décomposition s'opère sous l'influence de certains composés organiques azotés et essentiellement instables. La décomposition de l'acide carbonique semble même à tel point liée à la décomposition de ces matières, que la plante devra nécessairement, pour continuer à vivre, emprunter aux milieux ambiants les éléments nécessaires pour leur reproduction.

Ainsi dans cette hypothèse, basée d'ailleurs sur des observations positives, certains éléments de la plante sont dans un état de renouvellement perpétuel; semblables en cela à quelques éléments organiques des animaux, ils se reproduisent sans cesse.

Ce n'est point ici le lieu de soulever toutes les questions qui se rattachent à ce problème, l'un des plus importants de la philosophie naturelle.

Toutefois, nous ne pouvions nous empêcher d'attacher une attention toute particulière à cette déperdition d'azote, et nous devions rechercher quelle devait être la source extérieure de cet élément si nécessaire à la vie végétale.

Dans les expériences précédentes, faites dans l'eau distillée imprégnée d'acide carbonique, le dégagement d'oxygène a duré plus longtemps dans l'eau aérée que dans celle qui ne l'était pas, et nous ne pouvons attribuer cette différence qu'à l'influence de l'azote qui était en dissolution dans l'eau. Nous avons pensé dès lors que l'azote libre pouvait être directement assimilé par la plante; mais cette source est-elle la seule? L'azote à l'état de combinaison ne pourrait-il pas servir d'aliment aux végétaux aquatiques? Afin de nous éclairer sur cette question, nous avons essayé comparativement l'action de quelques sels ammoniacaux sur des plantes aquatiques placées dans les conditions suivantes :

Le premier flacon renfermait de l'eau ordinaire aérée, tenant en dissolution 25 centilitres d'acide carbonique pour 10 litres d'eau.

Le second flacon contenait de l'eau non aérée dans laquelle on avait fait dissoudre de l'acide carbonique, et, de plus, 1 gramme de sulfate d'ammoniaque pour 10 litres d'eau.

Le troisième contenait, au lieu de sulfate d'ammoniaque, le nitrate de la même base.

Enfin, le quatrième appareil contenait, avec la même

eau, une égale quantité de carbonate d'ammoniaque, c'est-à-dire 0,0001 du poids de cette eau.

Tous les appareils ont d'abord laissé dégager une certaine quantité d'oxygène, mais le phénomène a été beaucoup plus lent dans ceux qui contenaient des sels ammoniacaux; de plus, au bout de trois jours, la végétation était arrêtée dans les trois derniers flacons, tandis que dans le premier appareil elle était aussi active qu'au commencement de l'expérience.

En somme, le premier flacon avait laissé dégager, dans ce laps de temps, 1765 centimètres cubes de gaz; le second n'en avait produit, dans le même temps, que 160; le troisième, 140; et le quatrième, 66 seulement.

Ces résultats démontrent que les sels ammoniacaux, mais surtout le carbonate d'ammoniaque, ont eu, à la dose à laquelle ils ont été employés, des effets nuisibles.

Mais cette dose pouvait être trop forte; aussi ne considérons-nous pas cette question comme résolue : l'époque trop avancée de la saison ne nous a pas permis de terminer les expériences que nous avions entreprises dans le but de nous éclairer sur ce point.

Du mouvement des éléments absorbés ou exhalés par les plantes.

Il est assez difficile de dire, à priori, quelle est la partie des feuilles par laquelle s'effectue l'absorption des gaz, et en particulier de l'acide carbonique. En effet, la structure des deux surfaces de la feuille n'offre point de différences assez tranchées pour être appréciables; du moins, jusqu'à présent, nous n'y en avons pas vu. Une observation, que nous avons faite plusieurs fois, peut donner à cet égard des indices précieux.

Nous avions placé des tiges de *Potamageton perfoliatum* et *crispum*, dont les feuilles étaient des deux côtés parfaitement nettes, dans un des bassins du Muséum d'histoire

naturelle dont l'eau contenait en dissolution une quantité notable de carbonate calcaire. Ces végétaux ont continué à vivre comme s'ils avaient été fixés au sol; mais au bout d'une quinzaine de jours, nous avons été surpris de voir qu'un dépôt grenu, de forme crétacée et très-abondant, recouvrait toutes les feuilles, et particulièrement les feuilles les plus jeunes, les plus vertes, les plus vivantes. En examinant les choses de plus près, nous avons remarqué que ce dépôt se trouvait toujours à la face supérieure de la feuille, et que l'inférieure était demeurée absolument lisse; ce fait seul excluait toute idée d'un dépôt formé mécaniquement, car les tiges ayant une position à peu près horizontale, les faces supérieures des feuilles avaient les directions les plus opposées, les unes regardant de côté, les autres en haut ou en bas. Ces différences de position, qui auraient évidemment influé sur l'arrangement de molécules apportées du dehors par une action mécanique, n'avaient eu aucune influence sur la forme, sur l'aspect, sur l'épaisseur de ce dépôt; il reconnaissait quelque autre cause, mais pour la decouvrir il fallait, avant tout, déterminer chimiquement la nature de la matière déposée : or une analyse très-simple nous démontra que cette matière est du carbonate de chaux presque pur.

Nous avons cru trouver dans ce fait l'étiologie du phénomène; on sait, en effet, que le carbonate est tenu en dissolution dans l'eau par un excès d'acide carbonique. Si l'on sépare, par un moyen quelconque, cet excès d'acide carbonique, le carbonate de chaux se déposera. Or ce sel, en se déposant sur la surface supérieure de la feuille, nous indiquait clairement que c'est là que s'opère la séparation, ou, si l'on veut, l'absorption de l'acide carbonique par la plante.

Si nous admettons comme vraies les inductions que nous avons développées plus haut, cet acide carbonique est décomposé, dans l'épaisseur même de la feuille, par l'ac-

tion de la lumière sur la matière verte ou sur une substance azotée qui l'accompagne; quoi qu'il en soit, l'oxygène séparé ne se dégage pas immédiatement au dehors, mais s'amasse successivement dans les méats intercellulaires des nervures et des tiges, d'où il s'échappe en partie par de petits pores latéraux.

La marche de ce courant d'oxygène dans l'intérieur du végétal est assez remarquable : il se dirige constamment des feuilles vers les racines. On rend ce fait visible par une expérience très-simple : Si l'on prend un tronçon dans la partie moyenne d'une tige de *Potamogeton* ou même de *Ceratophyllum*, et qu'on l'expose horizontalement au soleil dans de l'eau chargée d'acide carbonique, on voit, au bout de quelques instants, des bulles nombreuses se dégager par la section radiculaire du tronçon, tandis qu'à l'autre extrémité le dégagement est insensible et même nul dans certains cas. Cette expérience, de quelque façon qu'on la varie, dans quelque position que les tronçons de tige soient placés, donne invariablement le même résultat.

Il est donc impossible d'en douter, quelle qu'en soit la raison anatomique, il y a un courant d'oxygène du sommet des tiges vers les racines. Ce phénomène, étudié en lui-même et rigoureusement constaté, peut être aussi envisagé dans ses conséquences. On peut se demander si cet oxygène, qui descend vers les racines, n'a aucun rôle ultérieur dans la nutrition de la plante; or on peut supposer qu'en dirigeant ainsi l'oxygène vers les détritus organiques oxydables qui entourent les racines, la nature a eu pour but d'entretenir autour du végétal une source constante d'acide carbonique : l'acte qui nourrit la plante créant ainsi autour d'elle un des aliments nécessaires à la continuité de la vie.

Résumé.

Si nous résumons rapidement les résultats de ces premières recherches, nous arrivons aux conclusions suivantes :

1°. La décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes submergées, ne s'effectue que sous l'influence de la lumière.

2°. Dans l'obscurité, il n'y a point d'acide carbonique produit.

3°. La lumière, modifiée par son passage à travers des verres colorés, a une intensité d'action décroissante dans l'ordre suivant :

1. Le verre incolore dépoli.
2. Le verre jaune.
3. Le verre incolore transparent.
4. Le verre rouge.
5. Le verre vert.
6. Le verre bleu.

4°. Une certaine température est nécessaire à la production du phénomène : lorsque la température est ascendante, il ne commence point au-dessous de 15 degrés ; lorsque la température est descendante, il peut continuer au-dessous de cette température jusqu'à 10 degrés au-dessus de zéro.

5°. Les sels et l'air qui se trouvent, avec l'acide carbonique, en dissolution dans les eaux naturelles, sont indispensables à la durée du phénomène.

6°. Le gaz produit par la plante contient, outre l'oxygène, une certaine quantité d'azote. Cet azote provient, pour la plus grande partie, de la décomposition de la substance même de la plante.

7°. L'azote de l'air, que l'eau tient en dissolution, paraît destiné à réparer cette perte ; quoi qu'il en soit, sa présence est indispensable.

8°. L'ammoniaque et les sels ammoniacaux, en dissolution dans l'eau à la dose de 0,0001, amènent rapidement la mort des plantes aquatiques.

9°. L'absorption de l'acide carbonique se fait par la face supérieure des feuilles.

10°. L'oxygène provenant de la décomposition de cet acide, passe dans les méats intercellulaires de la plante et marche constamment des feuilles vers les racines.

Tels sont les faits principaux dont la discussion fait le sujet de ce Mémoire. Nous avons dû laisser de côté un grand nombre de questions dont nous avons commencé l'examen, mais auxquelles nos expériences n'ont point encore donné de réponses positives. Nous attendons, pour les poursuivre, la saison favorable. Qu'il nous soit permis de terminer en exprimant notre profonde reconnaissance pour la bonté avec laquelle M. Chevreul a daigné encourager nos travaux, et pour les conseils qu'il nous a généreusement prodigués.

DE L'ACTION DU MAGNÉTISME SUR TOUS LES CORPS;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

Mémoire présenté à l'Acad. des Sciences, dans la séance du 4 août 1850.

TROISIÈME MÉMOIRE.

Dans un Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 21 mai 1849, et publié dans les *Annales de Chimie et de Physique* (3e série, tome XXVIII, pages 283 et suivantes), j'ai étudié l'action exercée par un aimant très-puissant sur différentes substances, lorsque ces substances sont plongées dans des milieux liquides ou gazeux.

Le procédé d'expérimentation dont j'ai fait usage étant décrit avec soin dans ce travail, je n'y reviendrai pas; je me bornerai à rappeler ici que ce procédé consiste à mesurer,

l'aide de la torsion, l'influence exercée par un électro-aimant sur des petits barreaux de substances diverses suspendus à un fil d'argent, en ayant soin de ramener toujours les petits barreaux à la même position d'équilibre, afin que les distances respectives de leurs différents points et de l'aimant restant les mêmes, la force de torsion du fil d'argent puisse donner immédiatement la mesure de l'effet produit sur la substance soumise à l'expérience.

Les résultats auxquels j'ai été conduit peuvent se résumer comme il suit :

« L'action exercée par un aimant sur une substance plongée dans un milieu liquide ou gazeux, est la différence des actions exercées séparément sur la substance et sur le volume du milieu déplacé. Un corps est donc attiré ou repoussé d'un centre magnétique, suivant qu'il est plongé dans un milieu moins magnétique ou plus magnétique que lui; de même qu'un ballon plein de gaz tombe à la surface de la terre ou s'élève dans l'air, suivant que ce gaz est plus dense ou moins dense que l'air. »

Ce principe est analogue au principe d'Archimède pour la pesanteur, avec cette différence, que celui-ci s'applique à la masse des corps, tandis que l'intensité magnétique n'en dépend pas.

En partant de ce principe, si l'on mesure les attractions et les répulsions de différents corps placés successivement dans le vide et dans divers gaz, le pouvoir magnétique de ces gaz se déduit de la différence des effets observés. J'ai trouvé de cette manière que certains gaz, tels que l'azote, le protoxyde d'azote, l'hydrogène, l'acide carbonique, n'éprouvent pas d'action bien appréciable de la part de l'électro-aimant employé, eu égard à la torsion d'un fil d'argent de $0^{mm},045$ de diamètre et de 350 millimètres de longueur, mais que l'oxygène est magnétique, c'est-à-dire attirable à l'aimant, à la manière du fer, et magnétique à un assez haut degré, pour que son action puisse être facilement mesurée. L'air est également magnétique; mais,

comme sa puissance n'est guère que le $\frac{1}{5}$ de celle de l'oxygène, il en résulte que l'effet n'est dû qu'à la présence de ce dernier gaz.

J'ai démontré également la puissance magnétique de l'oxygène en mesurant l'action des aimants sur des petits cylindres de charbon qui ont condensé un certain volume de ce gaz; ces cylindres sont alors attirés par les pôles magnétiques, tandis que, dans le vide, ils sont, en général, repoussés, et toujours moins attirés que lorsqu'ils renferment de l'oxygène.

L'acide carbonique et le protoxyde d'azote, qui se condensent plus que l'oxygène dans les pores du charbon, au lieu de présenter une forte attraction, donnent lieu à une légère répulsion. Ces gaz se comportent d'après cela comme repoussés par les aimants, et ce second procédé permet d'apprécier l'influence que les aimants peuvent exercer sur eux.

L'oxygène est donc un gaz dans lequel la puissance magnétique, par rapport aux autres gaz, se trouve exagérée; de même que le fer, le nickel et le cobalt, par rapport aux corps solides, présentent des effets magnétiques beaucoup plus considérables que ceux-ci. La puissance magnétique de l'oxygène est telle, que 1 mètre cube de ce gaz, pris à 76 centimètres de pression, et supposé condensé de manière à avoir la même densité que le fer, agirait sur une aiguille aimantée comme un petit cube de fer du poids de $5^{décigr},4$. D'après cela, 1 mètre cube d'air, pris à la même pression, a une action représentée par 11 centigrammes de fer, l'effet de l'azote étant trop faible pour changer cette valeur d'une manière sensible.

Les recherches des physiciens, et particulièrement de M. Faraday, ont démontré que tous les corps obéissent à l'action des aimants; les uns, tels que le platine, sont attirés à la manière du fer, en s'aimantant par influence sous l'action des aimants, comme ce dernier métal, mais à un degré beaucoup plus faible; les autres, tels que le bismuth, le soufre, l'eau, sont repoussés par les deux pôles magnétiques: de

sorte qu'un petit barreau, fait avec une de ces dernières substances et suspendu entre les pôles différents de deux barreaux aimantés, se place à angle droit de la ligne des pôles des aimants. On a rapporté les actions de ce second genre au *diamagnétisme*, et l'on a fait une propriété nouvelle de l'action en vertu de laquelle les aimants repoussent certains composés.

En examinant, à la fin du Mémoire dont il est question (page 343), si l'on ne pourrait pas rendre compte des phénomènes de répulsion ou de *diamagnétisme* par les faits connus, j'ai été conduit à cette hypothèse, qu'il pourrait se faire que cette propriété ou cette répulsion ne provînt que de ce que les corps sont plongés dans un milieu qui se comporte comme plus magnétique qu'eux, et que le principe indiqué au commencement de ce Mémoire s'appliquât à la répulsion des substances dans le vide de nos machines. On est alors conduit à admettre que le milieu éthéré, à l'aide duquel se transmettent les actions magnétiques, est influencé de la même manière dans le vide de nos machines que dans différents corps, et qu'un tel milieu se comporte comme plus magnétique que les substances repoussées.

Je n'ai proposé cette explication à la fin de mon travail que comme rendant compte des effets connus plus simplement qu'en admettant deux espèces d'actions, le magnétisme et le diamagnétisme ; mais les séries d'observations contenues dans le premier travail et dans celui-ci en sont complétement indépendantes, et subsistent quelle que soit la théorie à l'aide de laquelle on les explique.

D'après l'hypothèse dont il vient d'être question, et comme je l'ai annoncé dans mon précédent travail, les attractions exercées sur certains corps et les répulsions produites sur d'autres devraient suivre les mêmes lois, et décroître de la même manière lorsque l'intensité magnétique diminue : mais il y a certaines anomalies sur lesquelles on a voulu se baser pour établir l'existence du *diamagnétisme* comme

propriété distincte du magnétisme. J'ai dû alors reprendre de nouveau la question, étudier avec soin les effets qu'une action magnétique plus ou moins forte peut produire sur diverses substances, et essayer de remonter à leur cause.

§ I. — *De l'action exercée par un aimant sur diverses substances solides et liquides lorsque la puissance magnétique change d'intensité.*

La méthode décrite dans le Mémoire cité plus haut (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVIII, pages 290 et suivantes) permet de comparer avec exactitude les actions produites par le magnétisme sur des corps solides taillés en petits barreaux, lorsqu'on fait varier l'intensité du courant circulant dans le fil conducteur enroulé autour de l'électro-aimant.

Il suffit de faire passer le courant électrique qui anime l'électro-aimant dans un fil enroulé autour d'une boussole des sinus, laquelle est placée très-loin de cet appareil, pour pouvoir connaître à chaque instant l'intensité du courant électrique; en outre, les petits barreaux étant suspendus à un fil de torsion en argent, on peut mesurer l'action que le magnétisme exerce sur eux, en évaluant la force de torsion nécessaire pour ramener constamment ces petits barreaux dans la même position d'équilibre, soit lorsqu'ils sont repoussés des pôles des aimants, et ont une tendance à se placer perpendiculairement à la ligne des pôles, soit lorsqu'ils se trouvent attirés par ces mêmes pôles.

La disposition nécessaire pour que le même appareil donne également les attractions et les répulsions, consiste (*voir* pages 295 et 296 de l'ouvrage indiqué, et la planche annexée à ce travail) à placer les armatures en fer doux de l'électro-aimant, de façon que la ligne des pôles de ces armatures soit légèrement oblique à l'axe du petit barreau soumis à l'expérience. On peut, du reste, faire varier cette obliquité dans le cours d'une expérience.

Il est nécessaire de faire usage de petits barreaux d'essais dont la longueur soit au moins quatre ou cinq fois plus grande que le diamètre. Dans ces recherches, la longueur des petits barreaux a varié de 25 à 40 millimètres, et le diamètre de 3 à 10 millimètres. Les couples voltaïques composant la pile sont des grands couples de Bunsen, tels que les construit actuellement M. Deleuil.

J'ai annoncé dans le précédent Mémoire (pages 301 et suivantes) que la répulsion exercée de la part de l'aimant sur les corps repoussés dans l'air varie proportionnellement au carré de l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant, et, par conséquent, proportionnellement au carré de l'intensité magnétique. J'ai dit également, en m'appuyant sur les effets que l'on observe dans le fer doux, que l'attraction magnétique varie suivant la même loi, et que, d'après cela, le *magnétisme* et le *diamagnétisme* suivent la même loi de variation quand on change l'intentité magnétique. M. Plucker (*Annales de Poggendorf*, t. LXXIV, p. 367, 1848, et *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXVIII, p. 504) a dit positivement qu'il n'en était pas ainsi; et dans un travail publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXIX, p. 129 et suivantes, il revient sur la même assertion, sans donner de nouvelles preuves à l'appui. Les faits qu'il cite sont les suivants: si l'on place du bismuth dans un vase en cuivre, l'attraction sur le cuivre augmente avec l'intensité du courant moins rapidement que la répulsion sur le bismuth, et il peut y avoir attraction pour une faible intensité magnétique, et répulsion pour une forte intensité. Si l'on fait usage de petits barreaux en charbon, ils peuvent paraître magnétiques ou diamagnétiques, suivant l'intensité de l'aimant, ou, pour la même intensité, suivant leur distance aux pôles des aimants. Dès lors, si dans ces mélanges de matières magnétiques et diamagnétiques, l'attraction ou la répulsion l'emporte, suivant l'intensité polaire, ces deux actions, dit M. Plucker, ne varient pas suivant la même loi.

Comme ces effets sont ceux sur lesquels on s'est fond vouloir décider que le magnétisme et le diamagnétism dus à deux ordres d'actions différentes, j'ai dû repr avec soin cette question; je suis arrivé à confirmer de veau la loi énoncée dans mon précédent travail, pourv les corps s'aimantent à la manière du fer doux, com l'ai dit à la page 303 de ce Mémoire, et « n'aient » force coercitive sensible. » Mais quand il n'en es ainsi, la loi doit varier, et les exemples cités par M. Pl s'expliquent facilement, par ce motif que les corps m tiques qui ont donné lieu à ces effets s'aimantent à l nière de l'acier, ont une force coercitive sensible, e servent même des pôles permanents. Les résultats d va être question ne laisseront, je pense, aucun dout sujet.

Les tableaux donnés dans le précédent Mémoire (p. montrent bien que la répulsion sur le soufre et le bisı dans l'air et dans l'eau, varie, à très-peu près, com carré de l'intensité du courant qui circule dans l'él aimant, c'est-à-dire proportionnellement au carré d tensité magnétique. Les résultats suivants, obtenus à de barreaux de cire et de bismuth, conduisent aux n conclusions :

TABLEAU N° I. — *Barreau de cire blanche de* 35 *millimè longueur et de* 5 *millimètres de diamètre.*

RÉPULSION du barreau de cire dans l'air mesurée par la torsion.		MOYENNE des répulsions.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	QUO d rép pa sii
Aimantation dans un sens, de l'électro-aim.	Aimantation en sens inverse.					
— 3°,50	— 3°,35	— 3°,42	4	10°.30′	3,3210	—
— 12,19	— 12,17	—12,18	8	20.10	11,8860	—
— 28,55	— 28,25	—28,40	15	32. 0	28,0810	—

ABLEAU N° II. — *Barreau cylindrique de bismuth de 25 millimètres de longueur, pesant 1gr,933, et plongé dans l'eau.*

MOYENNE des répulsions obtenues en faisant passer successivem. le courant électrique dans les deux sens.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i donné par la boussole des sinus.	$\sin^2 i$.	QUOTIENT de la répulsion par le carré du sinus
— 3°,20	2	6°.27′	1,2620	— 2,536
— 11,50	4	12.12	4,4659	— 2,575
— 40,00	6	23.11	15,4980	— 2,580
— 77,50	12	33.33	30,5430	— 2,537
—110,45	15	41. 7	43,2430	— 2,554

On a soin d'opérer successivement en changeant le sens courant dans l'électro-aimant à l'aide d'un commutateur, prenant la moyenne des deux déterminations. Cette précaution est indispensable pour éviter les causes d'erreur es à la présence de faibles parcelles de corps magnétiques, quelles peuvent prendre des pôles permanents. Tous les sultats obtenus conduisent à la même conclusion relativement aux corps repoussés par les aimants et que j'ai essayés, la répulsion augmente avec régularité, de façon à être oportionnelle au carré de l'intensité magnétique, pourvu l'il n'y ait pas mélange de molécules de certaines substances agnétiques ou attirables à l'aimant dans l'air.

Examinons ce qui se passe maintenant avec les corps magnétiques.

J'ai annoncé dans le travail déjà cité (page 302) qu'un rreau de fer doux avait conduit à la même loi de variation intensité magnétique entre les limites des expériences. explication de ce résultat est facile : un aimant d'une insité i, exerçant une action sur une molécule de fer doux acée à une distance 1, doit développer, par influence, ne force représentée par $\pm mi$ sur cette molécule, m étant n coefficient constant. Or l'effet qui résulte de l'action de

l'aimant étant le produit de l'intensité magnétique p... l'intensité de la force développée dans la molécule, ser... $i \times (\pm mi) = \pm mi^2$.

Ce raisonnement, ai-je dit (page 303), s'applique à l'a... mantation du fer doux, et non pas à celle de l'acier ou de l... fonte.

Pour montrer qu'en se plaçant dans les mêmes conditio... que celles dans lesquelles on a observé la répulsion, on ar... rive à la même loi de variation, on a pris un barreau de ci... blanche de 35 millimètres de longueur sur 5 millimètres d... diamètre, qui a été placé dans l'appareil, et qui a donné lie... aux effets de répulsion indiqués dans la quatrième colon... du tableau suivant n° III. On a mis sur une des extrémit... de ce petit barreau une parcelle de limaille de fer doux r... cuite dans l'hydrogène, dont je n'estime pas le poids à $\frac{1}{10}$ d... milligramme, et cette parcelle a suffi pour rendre le pe... barreau fortement magnétique. Il est évident que l'effet ét... dû à l'action exercée sur cette parcelle de fer doux, et qu'e... évaluant, à l'aide de la torsion, comme dans les autres ex... périences, l'intensité de cette attraction, on peut compar... cette intensité avec celle du courant électrique circulan... dans l'électro-aimant. Il est facile de tenir compte de la ré... pulsion primitive exercée sur la cire. On a eu ainsi :

TABLEAU N° III.

BARREAU DE CIRE avec parcelle de fer doux.			BARREAU de cire sans fer.	ACTION sur le fer doux.	NOMBRE des couples de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$.
Aimantation dans un sens.	Aimantat. en sens inverse.	Moyenne.					
°	°	°	°	°		° ′	
+ 1,57	+ 0,95	+ 1,26	"	"	1	3.12	0,3116
+ 3,85	+ 3,25	+ 3,55	"	"	2	5.12	0,8214
+ 19,25	+ 20,25	+ 19,75	− 3,73	+ 23,48	4	11. 1	3,6517
+ 72,75	+ 72,10	+ 72,42	−13,89	+ 86,31	8	20.38	13,5920
+136,60	+133,20	+134,90	−25,90	+160,80	15	30.13,5	25,3410

La loi s'observe avec les trois derniers nombres; mais la répulsion de la cire dans l'air étant très-faible pour les deux premières déterminations, on ne peut pas en déduire l'action exercée sur la particule de fer doux isolée. Il est possible, du reste, d'après les différences que présentent les deux premières valeurs des colonnes 1 et 2, que cette particule se soit comportée comme ayant eu encore une faible force coercitive.

Lorsque l'on opère avec de la fonte et de l'acier, on n'a pas les mêmes effets que lorsqu'on fait usage du fer doux. Pour montrer les différences que l'on observe alors, j'ai pris deux petits barreaux, l'un de fonte, l'autre de fer très-doux, de 37 millimètres de longueur, tous deux parallélipédiques et pesant chacun $10^{gr},169$. Ces deux barreaux, après avoir été recuits au rouge, ont été suspendus successivement entre les pôles de deux barreaux aimantés que l'on a éloignés à différentes reprises, afin de changer l'intensité magnétique de la force agissant sur ces petits barreaux. A chaque position des barreaux aimantés, on a opéré par la méthode des oscillations, et en retournant les petits barreaux soumis à l'expérience. Dans les cinq dernières expériences dont les résultats sont consignés dans le tableau n° IV, les temps des oscillations ont été les mêmes que si l'on n'eût pas retourné le barreau; mais, dans la première, on a eu une légère différence avec le barreau de fonte : on peut peut-être attribuer cet effet à ce que la distance des barreaux aimantés aux petits barreaux suspendus était assez grande pour que les pôles permanents, qui avaient pu s'établir dans la fonte, ne fussent pas détruits, pendant la durée de la même expérience, en retournant le parallélipipède de ce métal.

TABLEAU N° IV. — *Barreaux de fer doux et de fonte noire de mê longueur* (37 *millimètres*), *de même poids* (10^{gr},169), *de mê forme, mais de volume différent, oscillant entre les pôles de d barreaux aimantés.*

	TEMPS d'une oscillation déduit de 100 oscillations		RAPPORT inverse du carr des temps, ou rapport des forc qui font oscille les barreaux, celle du fer do étant prise pour unité
	du fer doux.	de la fonte.	
1re distance des barreaux aimantés.	3″,450	4″,264	0,655
2e distance *Id.*.....	2,460	3,204	0,589
3e distance *Id.*..... ...	1,766	2,184	0,654
4e distance *Id.*.....	1,100	1,350	0,664
5e distance *Id.*.....	0,505	0,606	0,695
6e distance *Id.*.....	0,298	0,347	0,739

On reconnaît, à l'inspection de ces résultats, que les mants n'ont pas agi de la même manière sur le fer doux sur la fonte, quoique placés dans les mêmes conditions. admettant que l'augmentation de force magnétique dans fer doux soit proportionnelle au carré de l'intensité magn tique, on trouve que dans la fonte cette augmentation plus rapide. Si l'on voulait se servir de ces résultats po comparer les pouvoirs magnétiques de la fonte et du doux, on trouverait que le rapport de ces pouvoirs dépe de l'intensité de l'action magnétique.

La force coercitive de la fonte, comme celle de l'aci s'oppose donc à ce que les pôles magnétiques dévelop par influence acquièrent l'intensité qu'ils auraient si ce force coercitive n'existait pas, et si l'on opérait avec du doux; il y a, pour ainsi dire, une sorte de résistance au d veloppement du magnétisme par influence. Mais, plus l'i tensité magnétique est grande, plus l'intensité relative d pôles développés par influence dans la fonte ou l'acier

grande, et s'approche d'être égale à celle des pôles temporaires qui seraient produits dans du fer parfaitement doux.

Actuellement que l'on peut considérer comme établi que la répulsion exercée sur les corps repoussés par les aimants ou diamagnétiques, de même que l'attraction magnétique exercée sur le fer doux varie proportionnellement au carré de l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant, examinons les résultats auxquels peuvent conduire les liquides magnétiques, tels que les solutions de fer, de nickel, et les substances comme le verre, le charbon, etc., qui donnent lieu aux effets dont il a été question page 73.

L'action magnétique, dans ces recherches, a été obtenue soit en prenant la différence des effets produits sur des petits barreaux de cire, de soufre, ou de verre, plongés successivement dans l'air et dans les liquides (cette différence donne l'action magnétique du liquide, comme je l'ai démontré dans le premier Mémoire), soit en remplissant avec le liquide d'essais des petits tubes dont on se sert comme des barreaux de substance magnétique.

On a ainsi obtenu les résultats suivants :

TABLEAU N° V. — *Barreau de cire blanche de* 35 *millimètres de longueur sur* 7 *millimètres de diamètre, placé successivement dans l'air et dans une solution de protosulfate de fer* (n° 3). *Densité de la dissolution,* 1,1728.

MOYENNE DES RÉPULSIONS du barreau de cire, en faisant passer le courant électrique dans les deux sens.		V Différence des répulsions, ou action magnétique sur le sulfate de fer.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	QUOTIENT de la différence V par le carré du sinus.
Barreau dans l'air.	Barreau dans le protosulfate de fer.					
	°			° ′		
Insensib.	— 3,50	+ 3,50	1	3. 8,0	0,2988	+ 11,714
— 0°30	— 13,83	+ 13,53	2	6. 3,5	1,1339	+ 12,147
— 0,75	— 29,93	+ 29,18	3	8.42,5	2,2923	+ 12,730
— 1,30	— 49,97	+ 48,12	4	11. 4,25	3,6873	+ 13,050
— 1,85	— 74,70	+ 72,85	5	13.38,5	5,5624	+ 13,097
— 2,50	—102,42	+ 99,92	6	15 53,0	7,4901	+ 13,340

TABLEAU N° VI. — *Barreau de soufre de 25 millimètres de lon gueur, de 3 millimètres de diamètre, plongé successivem dans l'air et dans la même dissolution de protosulfate de fer*

MOY. DES RÉPULSIONS en faisant passer le courant électrique dans les deux sens.		V DIFFÉRENCE des répulsions, ou action sur la solution de sulfate.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	QUOTIENT de la différence V par le carré du sinus.
Air.	Sulfate de fer.					
	°	°		° ′		
Presque 0°	— 1,55	+ 1,55	1	3.10,5	0,3068	+ 5,052
— 0,22	— 5,90	+ 5,68	2	5.57,5	1,0775	+ 5,269
— 1,12	— 23,68	+ 22,56	4	11.24,0	3,9068	+ 5,774
— 4,20	— 81,58	+ 77,38	8	21.12,25	13,0870	+ 5,913
—11,10	—203,25	+192,15	15	34.23,0	31,8920	+ 6,025

TABLEAU N° VII. *Première expérience.*—Tube de ver de 25 millimètres de longueur plongeant dans une dissolutic de protochlorure de fer (solution n° 1; densité, 1,2767 Ce tube de verre étant très-faiblement influencé par l aimants, la répulsion mesurée par la torsion du fil est pre que entièrement due à l'action du liquide qui l'environn

Seconde expérience — Barreau de soufre de même lo gueur plongeant dans le même liquide.

MOYENNE DES RÉPULSIONS en faisant circuler le courant électrique dans les deux sens.		NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	RAPP. DE L'EFFET dû au magnét. au carré du sinus.
	°		° ′		
Tube de verre.	— 2,10	1	3.20	0,3381	6,213
	— 7,35	2	6.16	1,1915	6,167
	— 28,70	4	12. 1	4,3346	6,644
	—100,05	8	22.35	14,7480	6,779
	—185,50	12	32.39	29,1070	6,376
	—265,50	15	42.24	42,0060	6,320
Barreau de soufre.	— 3,8	1	3. 2,5	0,2816	13,475
	— 56,3	4	11. 0,0	3,6408	15,463
	—198,75	8	20. 2,5	11,7450	16,922
	—466,75	15	31.47,0	27,7430	16,824

Je dois faire remarquer que, lorsque les angles de torsion sont plus grands que 200 degrés, la limite d'élasticité du fil est dépassée ; il faut alors tenir compte du déplacement du zéro.

Tableau N° VIII. — *Barreau de verre plein placé successivement dans l'air et dans une dissolution de protosulfate de nickel ayant une densité de* 1,0827.

Moyennes des impulsions du verre.		Différ. V, ou action exercée sur le liquide.	Nombre des éléments.	Angle i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	Rapport de la répulsion dans l'air au carré du sinus.	Rapport de la différence V, au carré du sinus.
Dans l'air.	Dans le liquide.						
°	°			° ′			
"	— 1,40	"	2	6.28	1,2685	"	"
— 3,0	— 5,45	+ 2,45	4	12.35	4,7463	— 0,632	+ 0,516
— 10,1	— 19,00	+ 8,90	8	23.31	15,9000	— 0,635	+ 0,559
— 20,15	— 36,45	+ 16,30	12	34. 9	31,5130	— 0,639	+ 0,517
— 29,0	— 51,60	+ 22,60	15	42.13	45,1710	— 0,642	+ 0,501

On a fait un mélange de $21^{part},6$ d'eau pour 10 parties en volume de la dissolution de sulfate de nickel ; comme l'action magnétique de ce liquide est + 21,6, celle de l'eau étant — 10, ce mélange doit se comporter comme à peu près indifférent à l'aimant. On a eu, en plaçant dans ce liquide un petit cylindre en soufre, puis mesurant également l'effet dans l'air :

Tableau N° IX.

Nombre des éléments de la pile.	Barreau dans l'air.		Barreau dans le liquide.	
	Répulsion moyenne.	Angle i de la boussole des sinus.	Répulsion moyenne.	Angle i de la boussole des sinus.
	°	° ′	°	° ′
4	— 1,92	12.16	— 1,70	11.35,0
8	— 6,77	23.25	— 6,66	22.37,5
15	— 19,72	41. 7	— 19,52	40 22,0

Les répulsions du soufre ont donc été peu différentes dans ce liquide et dans l'air.

TABLEAU N° X. — *Petit tube plein de protochlorure de fer concentré, n° 2 (densité du liquide, 1,4344). Sa longueur est de 35 millimètres, et son diamètre extérieur est de 7 millimètres. Le liquide intérieur est très-magnétique.*

MOYENNE des attractions en aimantant l'électro-aimant dans les deux sens.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	QUOTIENT du nombre qui exprime l'attraction par le sinus carré.
+ 10,40	1	3.15,0	0,3216	32,338
+ 42,60	2	6.18,5	1,2055	35,338
+ 100,65	3	9.29,5	2,7175	37,037
+ 177,00	4	12.19,0	4,5515	38,888
+ 270,00	5	15.14,0	6,9865	38,646

On reconnaît, à l'inspection de ces tableaux, que pour ces substances, et principalement pour le sulfate de nickel, passé une certaine limite d'intensité, le rapport de l'attraction exercée par l'électro-aimant au carré de l'intensité magnétique tend vers une valeur constante: la loi énoncée plus haut (page 79) est donc vraie au delà d'une certaine limite; mais les valeurs constamment plus petites, qui sont données par les faibles intensités magnétiques, indiquent que les substances se comportent comme si elles avaient une force coercitive sensible, quoique très-faible, et malgré que la mobilité des particules liquides ne permette pas de reconnaître l'existence de pôles permanents après la cessation de l'action magnétique.

On pourrait peut-être supposer que, dans l'électro-aimant et dans ses armatures, la distribution magnétique n'est pas la même pour de faibles intensités que pour des intensités plus fortes; cet effet peut bien avoir lieu lorsqu'on fait usage d'une pile composée seulement de 2 ou 3 éléments. Mais,

comme l'indique le tableau n° VI, le rapport des actions magnétiques au carré de l'intensité augmentant dans cette circonstance, même lorsqu'on opère avec 15 éléments, et, d'un autre côté, la répulsion produite par l'électro-aimant sur le bismuth, la cire, etc., dans les mêmes circonstances, suivant la loi régulière dont j'ai parlé, il est présumable que l'augmentation régulière de ce rapport, dans le cas du sulfate de fer et d'autres liquides, provient de ce que ces corps se comportent comme doués d'une force coercitive sensible, quoique très-faible.

Après avoir parlé des composés magnétiques liquides, examinons actuellement ce qui se passe en faisant usage de corps solides magnétiques autres que le fer doux.

Un des corps qui se comporte comme magnétique est le platine; de l'éponge préparé avec soin m'a présenté cet effet à un degré assez marqué. Cette substance renfermait-elle encore quelques traces de fer? C'est ce que l'on ne peut affirmer. Afin de pouvoir former un barreau magnétique avec cette substance, j'ai fait un mélange de $0^{gr},615$ d'éponge de ce métal avec $0^{gr},213$ de cire blanche, et j'ai moulé ce mélange en un petit barreau pour le placer entre les pôles des aimants.

J'ai obtenu ainsi les résultats suivants :

TABLEAU N° XI. — *Barreau formé par un mélange de* $0^{gr},615$ *d'éponge de platine et de* 0,213 *de cire blanche.*

ATTRACTION.			NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	RAPPORT de l'attraction au carré du sinus.
Aimantat. dans un sens.	Aimantat. en sens inverse.	Moyennes.				
°	°	°	couples.	° ′		
+ 2,95	+ 0,52	+ 1,72	2	5.20	0,8640	+ 1,990
+ 8,00	+ 5,00	+ 6,50	4	10. 1	3,0254	+ 2,149
+22,45	+20,75	+21,60	8	17.40	9,2100	+ 2,345
+41,90	+41,55	+41,72	15	25.47	18,6930	+ 2,232

Ces résultats sont analogues à ceux que présentent quelques-uns des liquides dont il a été question plus haut; le rapport de l'attraction au carré de l'intensité est plus faible pour de faibles intensités. Mais il est facile de se convaincre que cette substance se comporte comme de l'acier ou de la fonte, et acquiert des pôles permanents; il suffit, après avoir soumis ce barreau à l'action du courant électrique provenant de 15 à 20 couples, de réduire la pile à 1 couple, et d'examiner les effets produits en faisant passer alternativement ce faible courant dans un sens et dans l'autre autour de l'électro-aimant, afin de varier le sens de l'aimantation.

On trouve alors, si l'on suit les mouvements du barreau à l'aide de la lunette de l'appareil, que lorsque le courant du couple circule dans le même sens que celui des 20 couples qui a agi précédemment, le petit barreau se comporte comme magnétique et est attiré; tandis que, lorsque le courant du couple circule en sens inverse, le petit barreau est repoussé. Il possède donc des pôles magnétiques permanents, inverses de ceux qui s'étaient développés dès le premier instant dans l'électro-aimant.

Les résultats contenus dans les deux premières colonnes du tableau précédent conduisent à la même conclusion, car ce petit barreau ayant acquis, dès les débuts de l'expérience, une polarité permanente, donne des attractions différentes pour de faibles intensités magnétiques, quand l'aimantation change de sens; mais, lorsque l'intensité du courant augmente, cette divergence disparaît.

Il y a, du reste, un moyen de reconnaître immédiatement l'existence de ces pôles; il consiste à approcher le petit barreau d'une aiguille de boussole très-sensible, ou du *sidéroscope de Lebaillif*. On voit aussitôt que chaque extrémité de ce petit barreau possède une polarité différente.

Cette polarité permanente a déjà été observée par plusieurs physiciens; mon père l'a trouvée dans le peroxyde de fer, et M. OErsted, dans un travail fort intéressant sur

le magnétisme (*Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, tome XXIV, page 432), a cité plusieurs exemples de substances présentant des effets analogues, tels que du charbon de bois, de l'iridium, etc. Le charbon de bois le manifeste à un haut degré; est-ce en raison du fer qu'il peut contenir? Cela est possible. Certaines espèces de verre donnent également des petits barreaux qui acquièrent des pôles permanents; enfin j'ai eu à ma disposition du zinc impur, contenant probablement du fer, qui était attiré par les aimants, et qui a conservé pendant longtemps les pôles qu'il avait acquis après une forte aimantation préalable. Quant au zinc purifié, il est repoussé par les aimants.

Le charbon de bois, qui donne lieu à des effets différents suivant l'intensité du courant, et qui, dans l'air, peut être attiré ou repoussé suivant l'intensité magnétique, est une des substances les plus capricieuses dont on puisse se servir; suivant les échantillons, et la manière dont ils sont recuits, on peut avoir des barreaux qui sont repoussés par de faibles forces magnétiques, ou bien attirés. Les observations suivantes ont été faites à l'aide de trois barreaux de charbon, dont le premier était repoussé par une faible intensité magnétique, le deuxième attiré même avec 15 éléments, le troisième avec 15 éléments n'était presque plus attiré, et aurait été repoussé avec 20 éléments.

TABLEAU Nº XII.— *Barreau de charbon de bois recuit, de 25 millimètres de longueur; il est repoussé dans l'air entre les limites d'intensité des expériences.*

RÉPULSION.			NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	RAPPORT de la répulsion au $\sin^2 i$.
Aimantat. dans un sens.	Aimantat. dans l'autre sens	Moyenne.				
°	°	°		° ′		
— 0,38	— 0,10	— 0,24	4	10.41	3,4366	— 0,0727
— 2,95	— 2,25	— 2,60	8	18.59	10,5810	— 0,2458
— 7,32	— 6,00	— 6,66	15	27.45	21,6800	— 0,3072

TABLEAU N° XIII. — *Barreaux de charbon de buis et de charbon de chêne attirés dans l'air.*

	ATTRACTION.			NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus	$\sin^2 i$.	RAPPORT de l'attraction au $\sin^2 i$.
	Aimantat. dans un sens.	Aimantat. dans l'autre sens	Moyenne.				
			°		° ′		
Charbon de buis.	"	"	+ 1,00	2	6.26	1,2550	+ 1,354
	"	"	+ 4,90	4	12.35	4,7460	+ 1,033
	"	"	+ 8,30	6	18. 9	9,7036	+ 0,856
	"	"	+14,50	10	29. 1	23,5290	+ 0,568
	"	"	+20,00	15	42.40	45,9320	+ 0,435
Charb. de bois.	+ 0,80	+ 1,50	+ 1,15	2	5.35	0,9466	+ 1,215
	+ 2,80	+ 3,50	+ 3,15	4	10.35	3,3733	+ 0,934
	+ 4,00	+ 4,45	+ 4,22	8	18.16	9,8245	+ 0,429
	+ 0,85	+ 1,20	+ 1,02	15	26.41	20,1660	+ 0,051

On voit que, dans la première expérience, tableau n° XII, la répulsion a augmenté beaucoup plus rapidement que le carré de l'intensité magnétique; dans les deux autres, au contraire, l'attraction a varié moins rapidement, et même, dans la dernière, se serait changée en répulsion pour une intensité plus forte: mais n'oublions pas que ces barreaux se sont comportés ensuite comme ayant acquis la propriété magnétique polaire, et ont présenté cette polarité après l'expérience. Les résultats suivants, obtenus avec des cylindres de verre et de zinc, conduisent aux mêmes conclusions.

TABLEAU N° XIV. — *Barreau de verre plein, de 25 millimètres de longueur et de 4 millimètres de diamètre.* (Ce petit tube est repoussé par les pôles de l'électro-aimant.)

Première position. — La direction du barreau étant peu oblique à la ligne des pôles ou à l'axe d'aimantation des armatures de l'électro-aimant.

Deuxième position. — La direction du barreau étant à 35 ou 40 degrés de l'axe d'aimantation des armatures.

Troisième position. — L'axe du barreau étant fort près de la ligne des pôles des aimants, le barreau lui-même se trouvant fort près des aimants.

	RÉPULSION en aimantant l'électro-aimant dans un seul sens.	NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	RAPPORT de la répulsion au carré du sinus.
1re POSITION.	Indice de répulsion.	1	3°.13′	"	"
	— 0,60	2	6.37	1,3260	— 0,453
	— 1,60	3	9.35	2,7720	— 0,578
	— 6,60	6	17.55	9,4640	— 0,697
	— 15,00	9	26.13	19,5160	— 0,768
	— 35,60	15	42.26	45,5270	— 0,782
2e POSITION.	Indice de répulsion.	2	"	"	"
	— 0,55	4	12.19	4,5500	— 0,122
	— 1,20	6	17.47	9,3280	— 0,129
	— 2,60	9	26.4	19,3100	— 0,135
	— 7,00	15	42.22	45,4100	— 0,154
3e POSITION.	+ 0,77 (attraction)	2	6.18	"	"
	+ 1,10	4	12.23	"	"
	+ 0,40	6	17.47	"	"
	— 6,30 (répulsion.)	15	42.40	"	"

TABLEAU N° XV. — *Barreau de zinc impur contenant probablement du fer, de 25 millimètres de longueur sur 2 millimètres de diamètre. Ayant servi à des expériences antérieures, il avait acquis des pôles permanents.*

EFFETS PRODUITS SUR LE BARREAU DE ZINC.							NOMBRE des éléments de la pile.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	QUOTIENT du nombre exprimant l'action du barreau par $\sin^2 i$.
PREMIÈRE EXTRÉMITÉ DU BARREAU.			SECONDE EXTRÉMITÉ.			MOYENNE générale.				
Aimantation dans le 1er sens.	Aimantation dans le 2e sens.	Moyenne.	Aimantation dans le 1er sens.	Aimantation dans le 2e sens.	Moyenne.					
+ 4°,5	— 1°,2	+ 1°,65	Indice de rép.	+ 2°,75	+ 1°,37	+ 1°,5	1	3°.15′	0,3228	+ 4,647
+ 40,1	+ 33,3	+ 36,70	+ 34°65	+ 34,80	+ 34,72	+ 35,71	4	12.18	4,6051	+ 7,755
+ 98,5	+ 96,8	+ 97,65	+ 90,20	+ 87,30	+ 88,75	+ 93,20	8	23.13	15,5410	+ 5,997
+149,9	+147,8	+148,85	+139,00	+146,00	+142,50	+145,67	12	33.24	30,3030	+ 4,807

Ces résultats montrent que le verre, le zinc impur, comme le charbon, se comportent de la même manière qu'un mélange d'une substance repoussée par les aimants et d'une substance attirée ou magnétique, cette dernière présentant les effets dont il a été question plus haut, ayant une force coercitive appréciable et conservant des pôles permanents après l'action magnétique. L'action produite sur cette seconde substance n'augmente pas proportionnellement au carré de l'intensité magnétique; la répulsion sur la première diminue, au contraire, suivant cette loi, et dès lors on doit trouver que le rapport du nombre exprimant l'effet du mélange, au carré de l'intensité magnétique qui agit sur ce mélange, n'est pas constant.

On peut même concevoir que ce rapport, dans les mélanges où l'attraction domine lors de faibles intensités magnétiques, puisse atteindre un maximum pour une certaine force des aimants; les tableaux n°s XI et XV en sont des exemples.

Nous venons de voir que certaines substances magnétiques se comportent comme l'acier et ont des pôles permanents, après l'action des aimants; il était intéressant d'examiner si des petits barreaux de substances repoussées ou diamagnétiques jouissaient d'une propriété analogue, et si leurs deux extrémités agissaient différemment sur une aiguille de boussole très-sensible ou sur l'aiguille du sidéroscope de Lebaillif, après avoir été soumis préalablement à une très-forte intensité magnétique. Mais je n'ai pu constater aucune action de ce genre, et s'il existe un effet, il doit être bien faible, puisque le procédé dont j'ai fait usage n'en a indiqué aucune trace. Dans quelques circonstances où j'avais cru observer des différences entre les actions des deux extrémités, on pouvait les attribuer à un mélange de fer ou de substance magnétique.

L'examen attentif des résultats contenus dans ce paragraphe conduit aux conséquences suivantes :

1°. Les substances repoussées par les pôles d'un aimant dans l'air, et appelées *diamagnétiques*, telles que le bismuth, le plomb, le soufre, la cire, l'eau, lorsqu'elles ne sont pas mélangées de substances attirables, sont repoussées avec une force qui pour le même corps, toutes choses étant égales d'ailleurs, est sensiblement proportionnelle au carré de l'intensité magnétique de l'aimant. Ces substances ne paraissent pas conserver de polarité permanente après une aimantation préalable.

2°. Les substances telles que le fer parfaitement doux, qui sont magnétiques ou attirables à l'aimant, mais sans force coercitive appréciable, et ne conservent pas la propriété polaire après que l'aimantation a cessé, sont attirées avec une force également proportionnelle au carré de la puissance de l'aimant.

3°. Certaines substances attirables à l'aimant, telles que le platine et plusieurs composés ferrugineux, donnent des effets différents; on trouve alors que le rapport de la force d'attraction au carré de l'intensité de l'aimant, change avec cette intensité, mais, dans la plupart des cas, tend vers une limite constante à mesure que l'intensité augmente. Il est présumable que ces corps se comportent comme ayant une force coercitive sensible, et sont attirés à la manière de l'acier et de la fonte. On peut pour quelques-uns, comme par exemple lorsqu'il s'agit du platine, s'en assurer directement en remarquant qu'après l'aimantation ils conservent des pôles pouvant subsister pendant un temps plus ou moins long, de la même manière qu'un barreau d'acier. On comprend d'après cela que, dans ces circonstances, l'action magnétique semble ne pouvoir s'établir sans éprouver une espèce de résistance, laquelle ne paraît pas exister lors de la répulsion produite sur le bismuth, le soufre, l'eau, et lors de l'attraction exercée sur le fer doux.

4°. Plusieurs composés, tels que le charbon, le verre,

peuvent être attirés lorsque l'électro-aimant a une faible intensité magnétique, et repoussés quand il est plus énergique, ainsi que plusieurs physiciens l'ont déjà observé. Mais si l'on examine avec attention ces composés, on trouve qu'ils ont acquis la propriété polaire après avoir été soumis à l'action des aimants; on peut se convaincre par là qu'ils se comportent comme doués d'une force coercitive assez grande.

Les conclusions 1 et 2, auxquelles j'avais déjà été conduit dans mon précédent travail, se trouvent ainsi développées, et non contredites, par les conclusions 3 et 4, qui résultent de ces nouvelles recherches.

Il est facile de se convaincre, d'après cela, que pour les substances rangées dans les première et deuxième catégories, l'intensité d'action exercée à l'unité de distance par un aimant ayant l'unité de force, sur l'unité de masse de matière, c'est-à-dire le magnétisme spécifique de ces substances, peut être rapportée à l'attraction exercée sur le fer doux ou à la répulsion exercée sur l'eau, comme je l'ai fait dans mon précédent travail; car les rapports obtenus sont les mêmes entre les limites d'intensité des expériences, quelle que soit la force des aimants employés pour faire cette détermination proportionnelle. Ainsi, les nombres obtenus dans le travail antérieur pour exprimer la répulsion des liquides ou des corps, comme le bismuth, le plomb, le soufre, le sélénium, la cire, l'alcool, etc., par rapport à la répulsion de l'eau ou à l'attraction du fer, sont indépendants de la force magnétique dont on a fait usage. Il en est de même de l'attraction produite sur l'oxygène, comme on le verra dans le paragraphe suivant.

Les substances magnétiques comprises dans la troisième catégorie, comme le platine, etc., donnent en général pour magnétisme spécifique, par rapport à la répulsion de l'eau, des nombres qui varient avec l'intensité du courant circulant autour de l'électro-aimant; quelques-uns, comme la dissolution de sulfate de nickel, se comportent à peu près

comme du fer doux; d'autres, comme les dissolutions chlorure de fer, de sulfate de fer, passé une certaine inte magnétique, d'après les tableaux nos V, VI, VII, VIII et X, donnent des attractions qui varient, à très-peu p comme le carré de l'intensité magnétique des aimants sorte qu'en opérant dans nos appareils, à l'aide de 25 couples de Bunsen, on a pour magnétisme spécifique porté à la répulsion de l'eau, des nombres qui ne dé dent plus de l'intensité magnétique de l'électro-aim Aussi les valeurs données dans mon premier travail elles, à très-peu près, les mêmes que celles que l'on p déduire des nouvelles expériences faites sur ce sujet; m si l'on opérait à l'aide de forces magnétiques plus faibl on pourrait avoir de grandes différences.

Quant aux substances rangées dans la quatrième cat gorie, il est impossible de rien préciser au sujet de le magnétisme spécifique; elles peuvent néanmoins serv dans les déterminations expérimentales, comme je l'a indiqué, mais en tenant compte de l'intensité magnétiqu qui agit sur elles.

§ II. — *De l'action exercée par le magnétisme sur les gaz.*

D'après l'historique rapporté dans mon précédent Mémoire, on a pu voir que M. Faraday ayant entrepris un premier travail dans le but de rendre sensible l'action du magnétisme sur les particules gazeuses (*Transactions philosophiques*, 1846, pages 50 et suiv., et *Bibliothèque universelle de Genève*, 1846, tome II), n'avait été conduit à aucun résultat, puisqu'il concluait que tous les fluides élastiques paraissaient parfaitement identiques dans leurs rapports magnétiques. Dans un second travail, l'illustre physicien anglais (*Philosophical Magazine*, 1847, t. XXXI, page 401) est revenu sur ce sujet, à l'occasion de l'action exercée par un aimant très-puissant sur les flammes; il a établi qu'il existe des effets produits sur des courants gazeux,

nt à travers d'autres gaz sous l'action d'aimants très-
ts, effets qu'il a attribués à la différence de diama-
ie des gaz, mais sans prendre aucune détermination
que. Il a varié ces expériences curieuses en modi-
température des gaz soumis à l'action des aimants.
uestion en était là lorsque j'ai publié le travail que
i cité plusieurs fois, et dans lequel se trouvent les
s des expériences qui m'ont conduit à la découverte
nétisme de l'oxygène. Le procédé d'expérimentation,
je l'ai déjà rappelé, page 69, consiste à placer suc-
uent les petits barreaux, sur lesquels on agit, dans
et dans différents gaz, pour apprécier le pouvoir
que de ces gaz par la différence des effets observés
s deux circonstances.

uit usage, pour fil de torsion, d'un fil d'argent de
5 de diamètre et de 350 à 400 millimètres de lon-
et, comme barreaux d'essais, de cylindres de verre
de cire. A l'aide du fil précédent on peut mesurer
es assez petites, mais il est difficile d'apprécier l'effet
sur tous les gaz. L'oxygène seul donne par cette
e des effets assez énergiques, et se présente comme
que ou attirable à la manière du fer.

, comme je l'ai déjà rappelé, si l'on suspend, à la
es barreaux de verre et de cire, des cylindres de
i bien recuit (1), on peut apprécier facilement, dans
cas, l'influence exercée par les aimants sur les gaz
és dans les pores du charbon. L'oxygène et par con-

protoxyde d'azote, qui se condensent beaucoup plus ces gaz dans le charbon, au lieu de présenter une attraction, donnent lieu à une légère répulsion et se portent comme faiblement diamagnétiques.

L'action exercée par l'électro-aimant sur les gaz que l'oxygène, est assez faible; c'est pour ce motif qu n'ai pas voulu donner de nombres pour la représente n'ai fait que de l'indiquer. Quant à l'oxygène, son voir magnétique, comparé à la répulsion de l'eau, à vol égal, est :

Oxygène (à 76 centim. de pression).	+ 1,80
Eau.....	— 10,00

Cela veut dire qu'un volume d'oxygène, pris à 76 cen mètres de pression, est attiré par un aimant environ c fois moins que le même volume d'eau est repoussé. (nombre qui exprime le magnétisme spécifique de l'o gène est indépendant de la force des aimants dont on sert, puisque la répulsion produite sur l'eau, et l'attract exercée sur l'oxygène, comme on va le voir, sont prop tionnelles au carré de l'intensité magnétique qui agit ces substances.)

D'après cet effet magnétique, si l'on forme un petit l reau d'une substance faiblement magnétique dans l'air qu'on le plonge dans l'oxygène, les autres conditions r tant les mêmes, il sera repoussé et se présentera com diamagnétique. C'est à quoi l'on parvient à l'aide d mélange de cire blanche et de platine en éponge. En mêl 1 000 parties en poids de cire et 135 de platine, j'ai tenu ce résultat. Peut-être, avec d'autres échantillons cire, faudrait-il des proportions un peu différentes.

On peut prouver directement le pouvoir magnétique l'oxygène en l'enfermant dans des petits tubes de verre mesurant l'action exercée par les aimants sur ces pe tubes; on y parvient de la manière suivante :

prend des petits tubes de verre très-mince, de
llimètres de longueur et de 7 à 8 millimètres de dia-
. Ces tubes, soudés à leurs deux extrémités, portent
ır milieu une petite allonge fermée en ramollissant
e à la lampe et étirant la partie ramollie; ils sont
:onstruits de telle manière que leur intérieur com-
ue au milieu ambiant par l'intermédiaire de la petite
e de verre que l'on peut fermer, dans l'espace d'une
ux secondes, en l'approchant d'une lampe à alcool.
açant ces tubes sous une cloche mise sur le plateau
machine pneumatique, faisant le vide, et introdui-
n gaz sous cette cloche, on est sûr que le gaz pénètre
'intérieur du tube et possède la même pression que
de la cloche. Si l'on enlève alors rapidement la
: et que l'on approche l'extrémité des petites allonges
bes, d'une lampe à alcool, on ferme ces tubes et ils
ıvent remplis du gaz que l'on veut soumettre à l'ex-
ıce.

tubes de verre que j'ai employés étaient tous re-
ès par les aimants dans l'air, lorsqu'ils étaient pleins
et que l'on agissait avec une pile de 15 ou 20 élé-
. Pleins d'oxygène, ils étaient attirés légèrement.
isant l'extrémité des allonges et faisant rentrer l'air,
ient repoussés de nouveau.

ısi, l'action attractive exercée par les aimants sur
ène se trouve encore démontrée directement par ces
ıences, et cela sur un volume de gaz de 1 à 2 centi-
s cubes.

cide carbonique, l'hydrogène, l'azote, placés dans
èmes conditions, ne m'ont pas donné d'effets mesu-
sensiblement. Le chlore seul m'a paru augmenter la
ısion du tube de verre.

ır montrer l'action répulsive ou diamagnétique que
mants exercent sur ces gaz, et mesurer cet effet, il est
ıaire, comme je l'ai déjà rappelé plus haut, de faire

usage de barreaux de charbon parfaitement recuits, — quels peuvent condenser d'assez fortes proportions de Dans mon premier Mémoire, j'ai fait voir que l'acide c bonique et le protoxyde d'azote donnaient des effets m nifestes de répulsion. Le tableau suivant indique l'acti du gaz oléfiant et du cyanogène.

TABLEAU N° XVI. — *Pile de* 15 *éléments. Barreau de charbon* 35 *centimètres de longueur et de* 8 *millimètres de diamè recuit comme on l'a indiqué plus haut.* (On a, en faisant su cessivement le vide et laissant rentrer les gaz :)

MILIEU dans lequel est plongé le charbon.	ACTION DES AIMANTS mesurée par la torsion.	ACTION DU GAZ condensé dans le charbo
	°	°
Vide (à $2^{mm},5$ de mercure).....	— 0,7 (répuls.)	"
Acide carbonique	— 2,5	— 1,8
Vide.....	— 0,7	"
Air atmosphérique	+ 2,50 (attract.)	+ 3,2
Vide.....	— 0,7 (répuls.)	"
Gaz oléfiant.....	— 3,50	— 2,8
Vide.....	— 1,70	"
Cyanogène.....	— 5,0	— 3,3
Vide.....	— 2,50	"

On voit que l'air seul, ou l'oxygène de l'air, a donné u attraction; le gaz oléfiant et le cyanogène ont présen une répulsion plus grande, mais surtout le cyanogène. U remarque importante doit être faite ici, c'est que la co densation de ces deux gaz a donné lieu à une modificatio telle, dans le charbon, que l'action magnétique, à for égale, dans le vide a augmenté de valeur. Ces deux g pourraient bien être décomposés en partie, en même tem qu'ils se trouvent condensés.

Si l'on admet les nombres donnés par de Saussure (1 pour représenter l'absorption relative de ces divers g

(1) *Bibliothèque britannique de Genève*, 1812, tome XLIX, page 299.

par le charbon, et si l'on suppose, en outre, que les effets sont proportionnels à la masse des substances en expérience, on déduit de ces résultats et de ceux de mon premier travail, les nombres suivants :

GAZ.	ACTION exercée sur le gaz condensé dans le charbon.	NOMBRE exprimant la condensation du charbon en volume (de Saussure).	RAPPORT des actions à volume égal.
Oxygène.....	+100,0	9,25	+100,0 (attract.)
Protoxyde d'azote	— 4,9	40,00	— 1,0 (répuls.)
Acide carbonique....	— 11,8	35,00	— 2,8 (répuls.)
Gaz oléfiant.....	— 18,4	35,00	— 4,5 (répuls.)
Cyanogène.....	— 21,6	"	"

Il faut remarquer que si un barreau de charbon condense un volume V de fer, c'est en vertu de (V — 1) qu'il se trouve attiré; car, d'après le principe établi dans le premier travail, le milieu a une action sur une substance quelconque qui s'y trouve plongée, représentée par l'effet produit sur le volume de fluide déplacé, mais pris en signe contraire.

Ces nombres ne sont qu'approximatifs, comme on peut le concevoir d'après ce procédé; mais ils indiquent que l'oxygène seul se comporte comme magnétique, et que son effet surpasse de beaucoup l'effet des autres gaz pris en signe contraire.

On doit observer également que ces nombres sont dans les limites de grandeur de ceux qui représentent les pouvoirs du soufre, du sélénium, etc., si l'on a égard au peu de masse des gaz. En effet, la densité de l'acide carbonique est 1,52 par rapport à l'air; or la densité de l'air est $\frac{13}{10000}$ par rapport à celle de l'eau, donc la densité de l'acide car-

bonique est $\frac{13.1,52}{10000}$ ou un peu plus de $\frac{2}{1000}$ par rapport à l'eau. Comme la puissance magnétique de l'oxygène est à peu près $\frac{1,8}{100}$ de celle de l'eau prise en sens contraire, à volume égal, celle de l'acide carbonique sera à peu près $-\frac{2,8}{100}.\frac{1,8}{10} = -\frac{5,04}{1000}$ ou à peu près $\frac{5}{1000}$ de celle de l'eau, à volume égal. A poids égal, d'après la densité de l'acide carbonique, cette puissance ne sera donc pas plus grande que deux fois et demie celle de l'eau.

Je n'ai pu mettre en évidence l'action exercée sur l'azote et l'hydrogène et les gaz faiblement condensés; quant au gaz ammoniac, il se comporte également comme repoussé par les aimants. Le chlore, dans les conditions où je l'ai placé, ne pouvant pas l'introduire dans mes appareils, m'a donné un indice de répulsion d'après ce que j'ai rapporté plus haut.

L'oxygène étant le seul gaz, jusqu'à présent, auquel j'aie reconnu la faculté magnétique à un haut degré, il devenait intéressant d'examiner comment l'action varie lorsque l'intensité magnétique des aimants qui l'influence change, et si cette action est proportionnelle au carré de l'intensité comme avec le fer doux. Les résultats suivants répondent à cette question.

TABLEAU N° XVIII. — 1°. *Barreau de charbon de chêne de 32 millimètres de longueur et de 7 millimètres de diamètre.*

2° et 3°. *Autres échantillons de charbon de même bois.*

Fil de torsion en argent de 35 centimètres de longueur.
La pression atmosphérique étant 75c,50.

	ACTION PRODUITE sur le charbon.		ACTION exercée sur l'oxygène.	NOMBRE des couples employés.	ANGLE i de la boussole des sinus.	$\sin^2 i$, le rayon étant 10.	RAPPORT de l'action de l'oxygène à $\sin^2 i$.
	Dans le vide fait à 2mm,5.	Dans l'oxygène.					
	°	°	°		° ′		
1°.	+ 0,45	+ 1,57	+ 1,12	4	10 47	3,5005	+0,320
	— 0,10	+ 3,84	+ 3,94	8	18.19	9,8765	+0,398
	— 1,67	+ 5,90	+ 7,57	15	27. 0	20,6110	+0,367
2°.	+ 0,15	+ 1,53	+ 1,38	4	11,35	4,0318	+0,342
	— 0,55	+ 4,20	+ 4,75	8	20.22	12,1120	+0,392
	— 2,67	+ 7,80	+10,47	15	32.21	28,6320	+0,366
3°.	— 2,90	+ 4,50	+ 7,40	11	18.15	9,8072	+0,753
	—16,00	+15,55	+31,55	25	39.55	41,1740	+0,766

Le troisième barreau avait un pouvoir condensant plus grand que les deux autres, ayant été mieux recuit.

On voit, d'après ces résultats, que la puissance magnétique de l'oxygène varie sensiblement comme le carré de l'intensité magnétique, et que ce gaz se comporte entre les limites de nos expériences comme s'il n'était pas doué de force coercitive ou comme du fer doux. C'est un exemple de plus prouvant que, dans ces conditions, l'attraction magnétique suit la même loi que la répulsion diamagnétique.

Il est impossible de se guider sur les résultats que donnent les barreaux de charbon qui ont condensé de l'oxygène pour s'assurer si ce gaz conserve une polarité magnétique, puisque ces barreaux de charbon eux-mêmes prennent des pôles permanents après l'action des aimants.

On peut comprendre, d'après ce qui précède, et comme nous l'avons déjà dit, le motif pour lequel la puissance magnétique de l'oxygène, par rapport à la répulsion de l'eau, ne change pas avec l'intensité du magnétisme entre les limites où nous avons opéré.

Il restait à examiner comment l'action magnétique exercée par un aimant sur l'oxygène varie avec la force élastique de ce gaz. Les résultats obtenus dans le Mémoire antérieur, et ceux que présente l'air atmosphérique, montrent qu'entre 0 et 76 centimètres cette action varie proportionnellement à la quantité de particules gazeuses renfermées sous un même volume, ou bien proportionnellement à la pression. Dès lors, en augmentant la pression, on doit, également, augmenter les effets d'attraction.

Je me suis servi, pour étudier ces phénomènes, d'un appareil analogue à l'appareil à gaz décrit dans mon premier Mémoire (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXVIII, page 222), mais formé d'une éprouvette très-résistante, et disposé de manière à pouvoir comprimer le gaz intérieur à 5 ou 6 atmosphères. Un manomètre, situé au-dessus de l'instrument, permet de mesurer les pressions au moment où l'on opère; il est bon de pouvoir faire le vide dans cette éprouvette, afin d'examiner l'action des petits barreaux suspendus au fil de torsion lorsqu'il n'y a pas de particules gazeuses dans l'appareil. Le fil de torsion est simplement suspendu à une tige passant dans une boîte à cuirs à la partie supérieure de l'appareil; la compression du gaz peut s'opérer à l'aide d'une petite pompe communiquant à l'éprouvette avec un tube de plomb.

J'ai opéré successivement en examinant l'action exercée sur un petit barreau de cire ou de verre entouré de gaz, agissant par simple déplacement sur le gaz ambiant, puis ensuite en faisant usage de charbon recuit.

Dans le premier cas, j'ai trouvé l'action proportionnelle à la pression.

Je citerai entres autres les résultats suivants :

TABLEAU N° XIX. — *Barreau de cire composé de* 1 000 *parties de cire et de* 140 *d'éponge de platine, et présentant un léger excès d'attraction dans le vide.*

Longueur, 28 millimètres. Diamètre, 8 millimètres.

MILIEU AMBIANT.	PRESSION DU GAZ, en centimèt. de mercure.	ACTION exercée sur le barreau rapportée à la même intensité magnétique.	ACTION exercée sur l'oxygène.	RAPPORT de l'action exercée sur l'oxygène, à la pression.
Vide.....	"	+ 6,60	"	"
Oxygène.....	76,45 press. barom.	+ 3,60	+ 3,00	0,0393
Oxygène comprimé...	201,90	— 1,50	+ 8,10	0,0399

Lorsque l'on opère de la même manière avec des barreaux en charbon, on trouve bien que l'effet augmente avec la pression, mais non plus proportionnellement. De Saussure a démontré, en effet, que le pouvoir absorbant du charbon change avec la pression du gaz extérieur, sans qu'il ait pu obtenir de loi à ce sujet; comme la puissance magnétique doit être proportionnelle à la masse du gaz, cette puissance ne doit plus varier proportionnellement à la pression comme dans le cas précédent.

Je rapporterai, à cette occasion, les résultats suivants :

TABLEAU N° XX.

Deux cylindres de charbon différents. Pile de 15 *éléments.*

	MILIEU AMBIANT.	PRESSION du gaz.	ACTION sur le charbon rapportée à la même intensité magnétique.	ACTION exercée sur le gaz.	RAPPORT de l'action du gaz à la pression.
		cent.	o	o	
1er cylindre	Vide (à $2^{mm},5$)...	"	— 1,70	"	"
	Oxygène.....	76,45	+ 1,80	+ 3,50	0,046
	Oxygène condensé..	239,75	+ 6,50	+ 8,20	0,035
2e cylindre	Vide.....	"	+ 13,54	"	"
	Oxygène.....	75,715	+ 20,70	+ 7,16	0,095
	Oxygène condensé..	228,156	+ 30,06	+16,52	0,072

Ces deux échantillons de charbon, dont l'un était repoussé dans le vide, l'autre attiré, mais ayant un pouvoir condensant plus grand, conduisent à la même conclusion, et montrent que l'intensité magnétique exercée sur l'oxygène condensé dans le charbon, augmente avec la pression du gaz, mais moins rapidement que cette pression. Cet effet provient, je le répète, de ce que le pouvoir condensant du charbon change; car, dans le cas de simple déplacement du milieu ambiant, comme nous l'avons obtenu avec un cylindre de cire, on trouve que cette proportionnalité existe.

Rien n'est plus propre à démontrer l'effet magnétique exercé par les aimants sur les particules gazeuses, que les cylindres de cire préparés, comme je l'ai dit plus haut, de façon à être peu attirés dans le vide. On peut aussi se servir avec avantage des cylindres de charbon fortement recuits et de l'appareil à gaz condensé, mais en suspendant les petits barreaux soumis à l'expérience à l'aide d'un fil de cocon, au lieu de fil de torsion en argent. On ne peut

plus mesurer les effets produits, mais les changements de direction des barreaux indiquent la nature des effets que l'on étudie. Ainsi, à l'aide de ce mode de suspension, un petit cylindre d'un mélange de cire blanche et de platine, attiré légèrement dans le vide, est repoussé fortement ou devient diamagnétique quand, les autres conditions expérimentales restant les mêmes, on introduit dans l'éprouvette de l'oxygène à 4 ou 5 atmosphères. Cet effet provient de ce que l'action produite sur le cylindre de cire mélangée est la différence entre la faible action magnétique exercée sur lui, et l'action magnétique plus énergique exercée sur le volume d'oxygène déplacé.

Un cylindre de charbon de buis ou de chêne bien recuit, substitué à la cire, est, en général, repoussé dans le vide. Il devient assez énergiquement attiré dans l'oxygène condensé, et, l'attraction n'étant plus contre-balancée par la torsion du fil d'argent, ce barreau se place dans la ligne des pôles des aimants. Si l'on introduit dans l'éprouvette du gaz oléfiant condensé à 4 ou 5 atmosphères, ce charbon devient, au contraire, plus fortement repoussé que dans le vide, et va se placer perpendiculairement à l'axe d'aimantation.

On peut voir que cette méthode d'expérimentation, dont j'ai d'abord fait usage dans le Mémoire précédent, et qui est basée sur l'action exercée par les milieux environnants sur les substances soumises à l'expérience, est éminemment propre à donner la mesure de l'action produite d'abord sur les liquides, ensuite sur les gaz, et a permis d'étudier les différentes circonstances du phénomène, lorsque l'on fait varier la force élastique de ces gaz.

La puissance magnétique de l'oxygène m'avait fait espérer que je trouverais l'eau oxygénée fort magnétique: mais il n'en a rien été. Ce composé m'a présenté des effets de répulsion qui montrent qu'il se comporte comme une autre combinaison que l'eau, du bioxyde d'hydrogène, et non

pas comme de l'eau qui aurait condensé de l'oxygène. C'est ce que l'on savait déjà par les propriétés chimiques de ce composé remarquable (1).

---

(1) Depuis la présentation de ce travail à l'Académie, M. Faraday a publié plusieurs Mémoires (*Philosophical Magazine*, octobre et novembre 1850) dans lesquels il est question de l'action du magnétisme sur les gaz. Il a indiqué une nouvelle méthode pour rendre appréciables les effets produits par un aimant sur les particules gazeuses, laquelle consiste à renfermer les gaz dans des sphères en verre, et à placer ces sphères aux extrémités de bras de levier. Il a pu rendre ainsi manifeste l'attraction exercée par un aimant sur les molécules d'oxygène.

Puisque les résultats dont il a été question dans ce travail prouvent le magnétisme de l'oxygène et de l'air, je ne puis m'empêcher de faire ici quelques remarques à l'occasion d'un Mémoire de M. Plucker inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIX, page 666. Dans ce travail, je n'ai pas trouvé qu'il fût fait mention des résultats publiés dans mon premier Mémoire, et surtout du magnétisme de l'oxygène et de l'air atmosphérique. M. Plucker se borne, à propos de l'action de l'aimant sur les gaz (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIX, page 134), à donner l'indication de son procédé et des résultats à obtenir.

Sa méthode est la suivante: Il place entre les pôles d'un électro-aimant un thermomètre à gaz dont le réservoir est construit à l'aide d'une feuille de laiton; après avoir attendu que la température soit stationnaire, il introduit une goutte d'alcool dans la tige du thermomètre. Quand l'électro-aimant est aimanté, il voit la bulle se mouvoir vers l'orifice du tube, et quand l'aimantation cesse, la goutte revient à sa position première.

Après cette indication, qui se rapporte à une seule expérience d'après les termes du Mémoire, M. Plucker ajoute :

« ... Le diamagnétisme de l'air était donc prouvé d'une manière évi-» dente, et j'avais trouvé une méthode capable non-seulement de mettre en » évidence la propriété magnétique ou diamagnétique des gaz, mais encore » de la mesurer exactement. On entrevoit ici un vaste champ d'expériences » très-importantes, qui peuvent conduire à la solution de questions encore » obscures. »

Là se bornent toutes ses conclusions et ses expériences; je ne puis pas partager l'opinion de M. Plucker, et avant qu'il ait prouvé l'exactitude de son procédé, je crois qu'il ne peut mener à aucune conclusion.

L'effet magnétique produit sur les gaz est beaucoup moindre, à volume égal, que celui manifesté sur les solides. Or M. Plucker enferme ou compte enfermer les gaz dont il veut mesurer les variations de volume dans un réservoir en cuivre, sans chercher préalablement l'effet produit sur cette enveloppe métallique; cette action peut être de beaucoup plus forte que l'ac-

§ III. — *Déductions théoriques.*

J'ai déjà essayé de donner une explication des effets du diamagnétisme et de lier entre eux les résultats que l'on observe lors de l'action du magnétisme sur tous les corps, sans qu'il soit besoin d'admettre deux genres d'actions différentes : 1° une action magnétique, analogue à celle qui s'exerce sur le fer, le nickel et le cobalt, mais à un degré plus ou moins énergique, suivant les substances sur lesquelles on agit ; 2° une action diamagnétique qui tend à repousser les molécules de certains corps des pôles des aimants.

Après avoir démontré que l'action exercée sur une substance plongée dans un milieu, est la différence des actions exercées sur cette substance et sur ce milieu, j'ai dit (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVIII, page 338) que si l'on admet les deux conclusions suivantes, dont la seconde n'est que la répétition de ce qui précède,

1°. Tous les corps s'aimantent momentanément sous l'influence d'un aimant, comme le fer doux lui-même, mais à un degré plus ou moins marqué suivant leur nature ;

2°. Une substance plongée dans un milieu est attirée par un centre magnétique, avec la différence des actions exercées sur cette substance et sur le milieu déplacé ;

Si l'on adopte, en outre, l'hypothèse que les actions magnétiques qui se développent dans les corps ne sont dues qu'à la présence d'un milieu éthéré qui les pénètre,

---

tion exercée sur le gaz : en outre, il resterait à prouver qu'il n'y a aucun changement de température pendant ces fortes actions magnétiques.

Avant ces recherches préliminaires, il me permettra donc de ne pas partager son opinion et de ne pas admettre ses conclusions, vu qu'elles se trouvent complétement contredites par la démonstration du magnétisme de l'oxygène et de l'air, dont j'ai rendu témoins toutes les personnes qui m'ont fait l'amitié de voir mes expériences.

il est facile, ai-je dit, de se rendre compte de tous les effets du diamagnétisme, en supposant que le milieu éthéré soit plus ou moins influencé dans les différents corps, et qu'une enceinte vide (c'est-à-dire vide d'air, telle que le vide de nos machines pneumatiques) renferme encore ce milieu éthéré dans un état tel, qu'il se comporte comme plus magnétique que les substances repoussées par les aimants dans cette enceinte. Alors, s'il en est ainsi, la force qui attire ces substances étant moindre que l'action exercée sur le milieu déplacé, ces corps doivent fuir les pôles des aimants, de même qu'un ballon plein de gaz s'élève dans l'air, non pas parce qu'il est repoussé par la terre, mais parce qu'il est moins pesant que le volume d'air déplacé par lui, et que celui-ci, par sa réaction, le force à s'éloigner de la surface du globe.

Je ne vois rien qui s'oppose à cette explication, et tous les résultats que j'ai obtenus me confirment de plus en plus dans cette manière de voir.

M. Plucker, dans le Mémoire déjà cité, et comme je l'ai indiqué dans le paragraphe Ier de ce travail, admet, pour expliquer les effets produits par les aimants, deux genres d'actions distinctes ne suivant pas les mêmes lois. Les exemples qu'il a cités, comme je l'ai démontré dans le paragraphe Ier, et qui sont tels, que certains corps peuvent être attirés ou repoussés suivant l'intensité du courant, ne prouvent pas que les lois suivies par les attractions et les répulsions dans toutes les circonstances, soient différentes; ces résultats s'expliquent très-bien, d'après mes recherches en remarquant que ces corps s'aimantent (ou sont mélangés de substances qui s'aimantent) à la manière de l'acier, ont une force coercitive sensible, et font éprouver une certaine résistance au développement de l'aimantation par influence.

M. OErsted, dans un travail fort intéressant, publié au sujet de l'action du magnétisme sur tous les corps (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIV, p. 433)

s conclu qu'il y avait deux genres d'effets différents
s sur les corps. Il a placé les substances, telles que
bon, etc., qui sont attirées ou repoussées suivant
ité du magnétisme, parmi les corps diamagnétiques
es.

Ersted a, de plus, rangé tous les corps suivant une
ion magnétique décroissante renfermant :

es corps magnétiques proprement dits;

es corps diamagnétiques attirables;

es corps diamagnétiques repoussables.

orps de la première et de la troisième classe suivent
le les lois que j'ai indiquées dans le paragraphe Ier.
: la deuxième classe donnent lieu aux effets dont il
uestion dans le même paragraphe, et sur lesquels
:ker s'est basé pour avancer que les lois du magné-
t du diamagnétisme étaient différentes; ces effets,
nous l'avons vu page 91, se déduisent très-simple-
: l'hypothèse que j'ai proposée, et comme je vais le
per ici.

cas peuvent se présenter :

)u les substances dont il s'agit sont des mélanges de
iagnétiques et diamagnétiques;

)u bien ces substances sont faiblement magnétiques.

le premier cas, il est nécessaire que la substance
ique du mélange rentre dans la troisième catégorie
clusions indiquées paragraphe Ier, page 90, et se com-
)mme ayant une force coercitive appréciable. Alors
tion exercée de la part de l'électro-aimant, sur la
ce magnétique, augmente moins rapidement que
: substance se comportait comme du fer doux; la
)n augmente, au contraire, proportionnellement
:é de l'intensité magnétique, ce qui indique qu'au-
ésistance ne s'oppose à cette action : il résulte de
l'attraction peut l'emporter pour une faible in-
magnétique, et la répulsion pour une intensité plus

C'est ce qui a eu lieu dans les expériences de M. P
ker, déjà citées au commencement de ce Mémoire.

Mais actuellement on peut se demander si, dans la
conde supposition, un corps simplement magnétique
être repoussé; nous le croyons, si sa force magnétique
fère peu de celle du milieu éthéré qui l'environne, et
se présente comme doué d'une force coercitive apprécia
En effet, l'influence magnétique du milieu environ
doit augmenter proportionnellement au carré de l'in
sité magnétique de l'électro-aimant; et comme cette
fluence se traduit en répulsion sur la substance soumi
l'expérience, la répulsion qui tend à l'éloigner de l'ain
augmente donc suivant cette loi; mais, d'un autre c
l'attraction exercée sur le corps, ou du moins sur le mi
éthéré qui pénètre ce corps, augmentant moins vite
l'indique cette loi, ce corps par hypothèse étant doué d
force coercitive plus ou moins grande, il en résulte
pour une certaine intensité magnétique, l'action du mi
ambiant l'emporte, et le corps est repoussé, tandis qu'i
attiré par une faible aimantation. Si l'effet que présen
charbon n'est pas dû à un mélange de fer, on peut en t
ver là l'explication.

Ainsi, les exemples cités par M. Plucker pour comb
la théorie que j'ai proposée, s'expliquent, au contr
très-facilement dans cette théorie, par ce motif que
taines substances se comportent comme s'aimantant
manière de l'acier et font éprouver une certaine résist
au développement de l'aimantation par influence.

D'après les principes que nous venons d'exposer, i
facile de concevoir que la répulsion, n'étant due qu'à
tion du milieu éthéré environnant, doit s'établir
aucune résistance, l'aimantation par influence, dar
milieu, ne paraissant rencontrer aucun obstacle; cet
doit donc varier proportionnellement au carré de l'in
sité magnétique. C'est ce qui explique les résultats d
observations.

Cette conclusion est opposée à celle du Mémoire de M. Plucker, inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXIX, page 137, puisqu'il dit que « la force diamagnétique rencontre une plus grande résis-» tance, un plus grand obstacle que la force magnétique. »

Ainsi, tous les effets connus jusqu'ici s'expliquent facilement à l'aide de l'hypothèse proposée dans mon premier travail. Je ne l'ai présentée que comme servant à lier tous les résultats connus et me paraissant plus rationnelle que les explications données jusqu'ici des phénomènes de ce genre, et qui consiste à admettre deux genres d'actions exercées par un aimant sur les différents corps de la nature.

Résumé et conclusions.

En résumé, dans ce nouveau Mémoire relatif aux actions magnétiques produites dans tous les corps, j'ai eu pour but d'étudier de quelle manière varie l'action magnétique dans une même substance solide, liquide ou gazeuse, lorsque la puissance de l'aimant qui agit sur elle change d'intensité.

Je suis arrivé aux conclusions suivantes :

1°. Les substances repoussées par les pôles d'un aimant dans l'air et appelées *diamagnétiques*, telles que le bismuth, le plomb, le soufre, la cire, l'eau, lorsqu'elles ne sont pas mélangées de substances attirables, sont repoussées avec une force qui, pour le même corps, toutes choses étant égales d'ailleurs, est sensiblement proportionnelle au carré de l'intensité magnétique de l'aimant.

Ces substances ne paraissent pas conserver de polarité permanente après une aimantation préalable.

2°. Les substances telles que le fer parfaitement doux, qui sont magnétiques ou attirables à l'aimant, mais sans force coercitive appréciable, et ne conservent pas la propriété polaire après que l'aimantation a cessé, sont attirées avec une force également proportionnelle au carré de la puissance de l'aimant.

3°. Certaines substances attirables à l'aimant, telles que le platine et plusieurs *composés ferrugineux,* donnent des effets différents. On trouve alors que le rapport de la force d'attraction au carré de l'intensité de l'aimant change avec cette intensité, mais, dans la plupart des cas, tend vers une limite constante à mesure que l'intensité augmente.

Il est présumable que ces corps se comportent comme ayant une force coercitive sensible, et sont attirés à la manière *de l'acier et de la fonte;* on peut, pour quelques-uns comme par exemple lorsqu'il s'agit du platine, s'en assurer directement, en remarquant qu'après l'aimantation ils conservent des pôles pouvant subsister pendant un temps plus ou moins long, de la même manière qu'un barreau d'acier.

On comprend, d'après cela, que, dans ces circonstances, l'action magnétique semble ne pouvoir s'établir sans éprouver une espèce de résistance, laquelle ne paraît pas exister lors de la répulsion produite sur le bismuth, le soufre, l'eau, et lors de l'attraction exercée sur le fer doux.

4°. Plusieurs composés, tels que le charbon, le verre, peuvent être attirés lorsque l'électro-aimant a une faible intensité magnétique, et repoussés quand il est plus énergique, ainsi que plusieurs physiciens l'ont déjà observé; mais, si l'on examine avec attention ces composés après que l'aimantation a cessé, on trouve qu'ils ont acquis la propriété polaire: on peut se convaincre par là qu'ils se comportent comme doués d'une force coercitive assez grande.

Si l'on considère ces matières comme des mélanges de substances attirées et de substances repoussées par les aimants, il n'est pas étonnant que la loi d'attraction soit fort compliquée; la portion repoussée par les pôles magnétiques étant soumise à la loi énoncée dans la première conclusion, et la portion attirée donnant lieu aux effets dont il a été question à propos de la troisième.

Les conclusions première et deuxième, déjà données dans mon premier travail, se trouvent développées par les deux

dernières, et l'on peut voir dans quelles circonstances l'attraction exercée sur certains corps et la répulsion produite sur d'autres ne varient pas suivant la même loi.

5°. L'oxygène seul, parmi les gaz soumis aux expériences, est attiré par les pôles magnétiques. Un électro-aimant agit par influence sur les molécules de ce gaz comme sur le fer doux, en donnant lieu à une attraction proportionnelle au carré de l'intensité du courant qui circule autour de cet appareil. La fraction 377 millionièmes, qui exprime le magnétisme spécifique de ce gaz, à masse égale, par rapport au fer doux, la place parmi les fluides fortement magnétiques. En effet, le liquide le plus magnétique que j'ai trouvé, la dissolution concentrée de protochlorure de fer est près de trois fois moins attiré que l'oxygène à égalité de poids.

6°. La puissance magnétique de l'oxygène, sous un volume donné, augmente avec sa force élastique. Lorsque ce gaz agit comme milieu ambiant sur des cylindres de *cire*, de *verre*, l'effet que l'on observe est proportionnel à la quantité de particules matérielles renfermées sous un volume donné, et, par conséquent, à sa force élastique; mais, lorsqu'il est condensé par des barreaux de charbon, le pouvoir de condensation du charbon variant avec la pression du gaz extérieur, l'action exercée sur les petits barreaux de cette substance, plongés dans l'oxygène, augmente bien avec la pression du gaz dans l'enceinte, mais n'augmente pas proportionnellement à cette pression.

7°. L'air atmosphérique présente les mêmes effets que l'oxygène, mais en vertu de la présence de ce dernier gaz, et, par conséquent, avec une force qui est les $\frac{21}{100}$ de celle que présente l'oxygène dans les mêmes conditions, l'effet de l'azote n'étant pas appréciable; c'est peut-être à l'action de cette masse gazeuse magnétique qui environne le globe, que sont dues les variations du magnétisme terrestre.

8°. Le protoxyde d'azote, le gaz oléfiant, l'acide carbo-

nique, le cyanogène, l'ammoniaque, condensés dans le charbon, donnent à celui-ci une répulsion plus grande sous l'influence des aimants que lorsqu'il est placé dans le vide; quant à l'azote et à l'hydrogène, ils ne se condensent pas assez pour donner un effet appréciable dans les limites de nos observations.

Après avoir exposé les résultats des expériences, j'ai montré, à la fin de ce travail, que l'hypothèse proposée dans ce premier Mémoire rend compte des faits observés jusqu'ici.

Cette hypothèse consiste à supposer qu'il n'y a pas deux genres d'actions différentes produites sur les corps par les aimants, actions magnétiques et actions diamagnétiques, mais bien un seul genre d'action, une aimantation par influence, et que la répulsion exercée sur les substances qui s'éloignent des pôles des aimants est due à ce que les corps sont entourés par un milieu plus magnétique qu'elles.

Je n'ai présenté, du reste, cette explication du diamagnétisme que pour lier entre eux, d'une manière plus simple, je crois, qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, les effets du diamagnétisme sur les différents corps soumis à son action.

MÉMOIRE SUR LA POLARIMÉTRIE DE LA CHALEUR;

PAR MM. F. DE LA PROVOSTAYE ET P. DESAINS.

Dans un précédent Mémoire, nous avons établi que la chaleur émise obliquement par le platine incandescent est partiellement polarisée dans un plan perpendiculaire à celui de l'émission. Nous avons aussi montré que la proportion dans laquelle cette chaleur est polarisée, varie avec la nature de la surface émettante, et avec l'inclinaison, et qu'elle peut être encore très-forte lorsque le platine est chauffé à 350 ou 400 degrés ; mais nous n'avons donné alors

aucune mesure de la grandeur des effets dont il s'agit, parce que la méthode qui nous avait servi à en constater l'existence était purement polariscopique.

Aujourd'hui, nous soumettons à l'Académie les résultats d'un nouveau travail dans lequel nous nous sommes proposé, 1° de déterminer numériquement le degré de polarisation des rayons de chaleur émis par le platine; 2° de comparer au phénomène calorifique le phénomène lumineux analogue, depuis longtemps découvert par M. Arago; 3° de rechercher s'il n'existe pas quelque rapport intime entre les actions qu'un même corps exerce lorsqu'il polarise la chaleur et la lumière par réflexion, et lorsqu'il les polarise par émission.

Pour résoudre ces différentes questions, il fallait tout d'abord avoir une méthode polarimétrique applicable à la chaleur. Voici celle à laquelle nous nous sommes arrêtés :

Lorsqu'un faisceau de chaleur partiellement polarisé tombe obliquement sur une pile de mica, il se transmet en proportions inégales, suivant l'angle que le plan de réfraction fait avec celui de polarisation du rayon. La transmission est maximum, quand ces plans sont croisés; minimum, quand ils sont parallèles. Dans tous les cas, pour une pile qui conserve une même inclinaison sur le faisceau incident, le rapport des transmissions maxima et minima ne varie qu'avec le degré de la polarisation primitive, et peut servir à le définir.

Ceci posé, nous polarisons complétement un faisceau de chaleur provenant d'une bonne lampe à modérateur; nous le transmettons normalement à travers une lame de quartz parallèle, dont la section principale a une position connue. Après avoir ainsi dépolarisé le rayon transmis dans une proportion déterminée, nous le recevons sur une pile de mica, montée de manière à pouvoir tourner autour du faisceau incident, en conservant toujours sur lui le même degré d'inclinaison; nous observons les effets thermosco-

piques obtenus lorsque le plan de réfraction coïncide avec la section principale du quartz ou lui est perpendiculaire, et nous calculons le quotient de ces effets.

En opérant ainsi pour une série de positions différentes de l'axe du quartz, nous avons obtenu les nombres suivants :

ANGLE de l'axe du quartz avec le plan de polarisation primitive.	PROPORTION de chaleur polarisée contenue dans le faisceau qui sort du quartz et qui vient tomber sur la pile de mica.	RAPPORT des déviations observées dans les deux positions rectangulaires de la pile de mica.
22°	0,719	0,324
27	0,588	0,40
33	0,407	0,555
37	0,276	0,69
40	0,175	0,77

Dans la construction de cette Table, on a pris toutes les précautions nécessaires pour s'assurer de l'exacte orientation des différentes parties de l'appareil. Ainsi on ne manquait jamais, lorsqu'on avait fait une série de déterminations en inclinant l'axe du quartz de δ degrés à droite du plan de la polarisation primitive, de recommencer une série semblable en inclinant le quartz de δ degrés à gauche de ce même plan.

De même, pour écarter toute erreur qui eût pu provenir de l'orientation de la pile de mica, on comparait à l'effet produit, quand son plan de réfraction coïncidait avec la section principale du quartz, la moyenne des déviations obtenues lorsqu'il était placé successivement à 90 degrés à droite et à 90 degrés à gauche de cette position.

La graduation a été, de plus, vérifiée directement de la manière suivante :

Nos expériences antérieures (1) ont établi que l'acier, sous

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXX, page 282.

l'angle de 70 degrés, réfléchit 0,87 de la chaleur de la lampe, lorsqu'elle est, à l'incidence, polarisée parallèlement au plan de réflexion, et 0,42 lorsqu'elle est polarisée perpendiculairement. Il en résulte que si l'on fait tomber sur ce métal et sous l'angle de 70 degrés un rayon de chaleur naturelle provenant de la même source, on doit trouver, dans le rayon réfléchi, $\frac{87-42}{87+42} = 0{,}34$ de chaleur polarisée parallèlement à l'incidence.

En effet, en recevant le faisceau réfléchi sur la pile de mica, et prenant soin de rendre le plan de réfraction de cette dernière successivement parallèle et perpendiculaire à celui de réflexion sur le miroir, nous avons obtenu les déviations 10,5 et 16,9. Le quotient $\frac{105}{169} = 0{,}62$ répond, d'après la Table, à une proportion de chaleur polarisée égale à 0,34.

Analyse de la chaleur émise par le platine sous diverses inclinaisons.

Dans toutes les expériences faites pour étudier la polarisation de la chaleur, émise obliquement par le platine, nous opérions avec des lames carrées qui avaient $0^m,073$ de côté. Le plus souvent, ces lames étaient maintenues dans une position verticale; elles pouvaient alors pivoter autour d'un axe également vertical, et qui, prolongé, rencontrait la règle de l'appareil thermo-électrique en un point situé au milieu de son épaisseur. Un cercle gradué horizontal, dont le centre était sur cet axe, définissait leur position. Enfin la source de chaleur était un éolypile à jet horizontal, alimenté par de l'alcool absolu, qui, placé derrière la lame, la portait au rouge et l'y maintenait pendant un temps assez long pour qu'on pût faire un certain nombre d'expériences consécutives.

Avec le platine poli, nous avons obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

INCLINAISON des rayons émis comptée à partir de la normale à la lame.	PROPORTION de chaleur polarisée perpendiculairement au plan d'émission.
0	
70	0,70
60	0,51
40	0,26
30	0,06 à 0,07
0	0,00

Avec le platine platiné sous l'angle de 70 degrés, nous avons trouvé dans le faisceau émis 0,13 seulement de chaleur polarisée; et, avec le noir de fumée sous ce même angle, on n'en trouve pas la plus légère trace.

Dans quelques expériences, la lame de platine était inclinée à l'horizon au lieu de lui être perpendiculaire, et placée dans une position telle, que son plan d'émission fût vertical. Les résultats n'étaient pas changés; mais cette disposition permettait de faire varier le degré d'échauffement de la lame, parce que la source de chaleur était alors une lampe à double courant dont on pouvait lever plus ou moins la mèche. Dans des essais où la surface émettante était complétement obscure, nous avons eu encore l'indice d'une polarisation considérable.

Pour comparer au phénomène de polarisation calorifique le phénomène lumineux correspondant, nous avons eu recours à la méthode polarimétrique que M. Arago a fait connaître, et que M. Édouard Desains a récemment appliquée à la vérification expérimentale des formules données par Fresnel pour représenter la réflexion de la lumière sur le verre.

La pile de glace dont nous avons fait usage était formée de sept lames minces et bien transparentes. Nous nous sommes arrêtés à la Table de graduation suivante :

PROPORTION de lumière polarisée contenue dans le rayon qui vient tomber sur la pile de glaces.	INCLINAISON de la pile de glaces qui dépolarise la lumière incidente.
	°
0,719	24,75
0,588	33,5
0,407	44,0
0,276	51,8

Pour en vérifier l'exactitude, nous avons employé notre appareil à chercher directement dans quelle proportion la réflexion sur l'acier, sous l'angle de 70 degrés, polarise un faisceau primitivement naturel; nous avons trouvé 0,48. Or c'est ce qui devait être, car l'acier réfléchit :

0,83 de la lumière polarisée dans le plan d'incidence;
0,297 de la lumière polarisée perpendiculairement à ce plan.

Ce qui donne

$$\frac{83-29,7}{83+29,7}=\frac{53,3}{112,7}=0,473 \text{ de lumière,}$$

polarisée par réflexion.

En employant cette pile de glaces aux mesures auxquelles nous la destinions, nous avons trouvé que la lumière émise par le platine rouge contient :

Sous l'angle de 70°..... 0,45
Sous l'angle de 60°..... 0,32
Sous l'angle de 50°..... 0,265

de lumière polarisée perpendiculairement au plan d'émission.

Ces différents résultats ont été contrôlés, en substituant à la pile de glaces employée jusqu'ici, une pile de mica dont nous avions préalablement étudié, sous différents angles, l'action dépolarisante.

Voici la Table de graduation de cette nouvelle pile :

PROPORTION de lumière polarisée contenue dans le rayon qui vient tomber sur la pile de mica.	INCLINAISON de la pile de mica qui dépolarise la lumière incidente.
	°
0,866	36,65
0,719	41,2
0,588	49,33
0,407	55,4
0,276	61,9

Pour dépolariser la lumière émise par le platine sous l'angle de 70 degrés, nous avons trouvé qu'il fallait incliner la pile de 54 degrés sur le rayon incident; ce qui correspond toujours, très-sensiblement, à la proportion 0,45.

La différence notable qui se manifeste entre le degré de polarisation des rayons de chaleur émis par le platine, et celui des rayons lumineux qui les accompagnent, tient sans doute aux différences qui existent entre les moyennes longueurs d'ondes de ces deux sortes de rayons. La plus forte partie de l'émission calorifique est, en effet, composée de chaleur obscure, d'une longueur d'onde moyenne, beaucoup plus grande que celle de la lumière émise par la lame incandescente. Or, avec la longueur d'onde d'un rayon, varie la proportion dans laquelle il se polarise par réflexion sur un miroir; il n'est donc pas surprenant qu'une influence du même genre se fasse sentir dans le phénomène de la polarisation par émission.

Ce qui va suivre donnera, ce nous semble, plus de probabilité à cette manière de voir.

Dans ses travaux mathématiques sur l'équilibre de la chaleur dans les enceintes, Fourier a très-souvent été guidé par une hypothèse que nous allons rappeler ici, et qui établit une relation intime entre l'émission et la réflexion. Elle consiste à dire que, lorsque la chaleur qui se propage de

particule à particule se présente à la surface de séparation d'un corps et du milieu qui l'environne, il s'effectue, au moment de la sortie, entre les rayons émis et les rayons réfléchis intérieurement, une séparation toute semblable à celle qui s'opère sur cette même surface, lorsque des rayons viennent du dehors, et tendent à pénétrer dans l'intérieur. Nous transcrivons en note une série de textes qui montrent comment M. Fourier d'abord, MM. Biot et Poisson ensuite, ont entendu cette action de la surface sur le rayon émergent (1). Pour eux, pas de réfraction à la sortie du corps;

(1) La chaleur incidente qu'un élément ω reçoit des corps environnants se divise en deux parties, dont l'une pénètre la masse M, tandis que l'autre est réfléchie dans l'espace extérieur, en formant l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion. Quant aux rayons que le corps M tend à projeter, ils sont soumis à l'action d'une cause semblable, et subissent une sorte de réflexion intérieure. Une partie de ceux qui sont émis par les molécules les plus voisines de la surface, et qui parviennent à l'élément ω sous un certain angle, poursuivent leur route en ligne droite dans l'espace environnant. C'est en cela que consiste l'émission propre. Une autre partie de la chaleur que le corps tend à projeter ne pénètre pas au delà de ω, elle rentre dans la masse. (Fourier, *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome XXVII, page 237.)

... Le rayon r, qui tombe sur ω et dont la direction fait avec cette surface un angle φ, est divisé en deux parties, αr, $(1-\alpha)r$, dont la première αr pénètre le solide, et dont l'autre $(1-\alpha)r$ est réfléchie. Le coefficient α est une fraction qui mesure la réflexibilité de la surface. Si le même rayon r tendait à sortir du solide suivant la direction contraire, il serait aussi réduit à αr, et la partie correspondante $(1-\alpha)r$ serait rappelée vers l'intérieur du corps par cette même force qui repoussait une partie du rayon incident. C'est en cela que consiste l'égalité réciproque de la force émissive et de la force absorbante. (Fourier, *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome VI, page 273.)

... Parvenu à la surface, chaque rayon de chaleur continue de se mouvoir dans l'air environnant en ligne droite et suivant le prolongement de la direction qu'il avait auparavant, de sorte que la quantité de chaleur qui traverse à chaque instant un élément infiniment petit de la surface dans une direction déterminée, provient des points du corps qui sont compris dans un cylindre parallèle à cette direction et circonscrit à l'élément. (Poisson, *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome XXVI, page 225.)

Voici maintenant comment M. Biot présente la même idée dans son *Traité de Physique*, tome IV, pages 648 et 649.

... Supposons que le point M d'un de nos disques reçoive, dans la direc-

les rayons venus de l'intérieur traversent la surface en éprouvant des pertes par réflexion, mais pas de déviation.

Ainsi posé, le principe dont il s'agit peut bien ne pas être regardé comme une réalité physique, mais on ne peut se refuser à admettre qu'il explique très-bien la plupart des lois de la chaleur rayonnante.

Il indique que les pouvoirs émissifs des corps sont égaux à leurs pouvoirs absorbants, lorsque les rayons qui tendent à pénétrer dans leur intérieur sont de même nature que ceux qui tendent à en sortir.

Il montre que le pouvoir émissif peut changer avec la température, par cela seul que le pouvoir réflecteur peut varier avec la nature de la chaleur incidente.

Il fait connaître comment l'émission varie avec l'inclinaison des rayons sur la surface émettante. Dans le cas, en effet, où le pouvoir réflecteur de cette dernière est nul ou constant, il démontre l'exactitude de la loi du cosinus; mais lorsque le pouvoir réflecteur change avec l'angle d'incidence, il conduit à admettre une loi d'émission toute différente. Or on se rappelle que nos expériences antérieures

---

tion RM, un filet de calorique dont l'intensité soit exprimée par I. Une certaine proportion de ce filet, pénétrant la substance du disque, y introduira la quantité de calorique $I\mu$, et le reste $I(1-\mu)$ se réfléchira suivant MR', en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Donc, puisque la température du disque reste constante, il faudra qu'au même instant il en sorte par le point M, suivant la direction MR', une quantité complémentaire $I\mu$ qui, s'ajoutant à $I(1-\mu)$, reproduise la quantité I primitivement incidente. Cette portion rayonnée $I\mu$ peut elle-même être considérée comme provenant d'un filet intérieur dirigé suivant r'M, et ayant une intensité égale à I. Ce filet arrivant en M à la surface du disque, y éprouve exactement le même effet que le filet venu du dehors. Une portion $I(1-\mu)$ se réfléchit intérieurement suivant Mr, prolongement de RM, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, tandis que le reste $I\mu$ sort du corps et s'unit au filet réfléchi extérieurement suivant MR', de sorte que la quantité totale de calorique $I(1-\mu)+I\mu$ renvoyée dans cette direction est encore égale à I, c'est-à-dire la même avant et après l'incidence, ce qui maintient l'égalité des échanges avec les parois de l'espace, et, par suite, l'égalité des températures.

ont prouvé que la loi de Lambert, vraie quand il s'agit du noir de fumée, cesse de l'être en beaucoup d'autres cas. Enfin le même principe explique simplement pourquoi la chaleur et la lumière émises obliquement par les corps incandescents sont partiellement polarisées dans un plan perpendiculaire à celui de l'émission. Il indique, en effet, que les rayons émis doivent pouvoir reconstituer de la lumière ou de la chaleur naturelle, en se combinant avec ceux dont ils ont été séparés par l'action réfléchissante de la surface. Or ces derniers, d'après les lois connues, sont polarisés parallèlement au plan d'émission.

On peut aller plus loin, et montrer que cette hypothèse suffit pour faire prévoir, jusque dans leurs valeurs numériques, les phénomènes de polarisation par émission. Quelques calculs des plus simples vont prouver la chose jusqu'à l'évidence.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de la chaleur. Des expériences directes nous ont prouvé que, lorsque 100 rayons émis par une lame de platine incandescente, tombent sur un miroir de ce métal sous un angle de 70 degrés, ils se réfléchissent dans la proportion de 94 lorsqu'ils sont polarisés dans le plan d'incidence, de 66 lorsqu'ils sont polarisés perpendiculairement à ce plan.

Si l'on faisait tomber les deux faisceaux simultanément, l'ensemble se comporterait comme de la chaleur naturelle; il en résulte que, dans l'hypothèse de Fourier, quand 200 rayons de chaleur se présentent pour sortir d'une lame de platine chauffée au rouge, il s'en réfléchit intérieurement

94 polarisés dans le plan d'incidence,
66 polarisés perpendiculairement.

Par suite, il émergera

6 rayons polarisés dans le plan d'incidence,
34 rayons polarisés perpendiculairement.

tion droite. Il faudrait donc faire une nouvelle supposition et admettre que, dans le cas de l'équilibre, il chemine des quantités de chaleur égales dans ces cylindres inégaux, et que la densité des rayons dans l'un est à la densité des rayons dans l'autre comme cos r est à cos i.

Sans avoir recours à ces changements dans la densité de la chaleur, on pourrait encore sortir de difficulté, en supposant que les réflexions qui se font à l'intérieur et à l'extérieur, sous des angles correspondants r et i, ont des intensités inégales et proportionnelles aux cosinus de ces angles. Mais, entre cette nouvelle hypothèse et les précédentes, nous n'avons pas, jusqu'ici, de raison grave pour choisir; et voilà pourquoi nous nous sommes arrêtés à celle qui existait dans la science.

Les valeurs numériques que nos expériences assignent aux proportions de chaleur ou lumière polarisées qui existent dans les rayons émis par le platine chaud, conduisent, indépendamment de toute hypothèse, à une conséquence qui nous paraît avoir quelque importance théorique, et sur laquelle nous allons insister.

Considérons une enceinte fermée de platine incandescent, dont tous les points seraient à même température; le pinceau qui, dans cette enceinte, se dirige d'un élément sur un autre, sous une inclinaison déterminée, est formé d'une portion émise et d'une portion réfléchie. Ces portions sont entre elles comme les pouvoirs émissifs et réflecteurs du platine, c'est-à-dire comme les nombres 20 et 80, d'après nos expériences citées plus haut sur la réflexion de la chaleur émise par le platine incandescent. Le faisceau réfléchi, égal à 80, contient $80 \times \frac{94-66}{94+66} = 14$ rayons polarisés dans le plan de réflexion. Le faisceau émis d'intensité égale à 20 est polarisé dans la proportion de 0,70; par conséquent, il contient $20 \times 0{,}70 = 14$ rayons polarisés perpendiculairement au plan d'émission.

Ainsi, la partie émise et la partie réfléchie du rayon que

nous considérons, contiennent des quantités absolument égales de chaleur polarisées, l'une dans le plan d'émission, l'autre dans un plan perpendiculaire. Le rayon total sera donc, en définitive, à l'état naturel.

Ces conséquences sont immédiatement applicables à la lumière qui chemine d'élément à élément dans une enceinte uniformément rouge. Il faut seulement admettre que chaque faisceau de direction déterminée est formé de proportions émises et réfléchies, dont les intensités soient toujours entre elles comme R et $1 - R$, R étant le pouvoir réflecteur du platine dans les conditions de l'expérience.

Les nombres suivants ne peuvent laisser aucun doute sur ce point. Le pouvoir réflecteur du platine, pour la lumière, est 0,60; par conséquent, sur 100 rayons qui, dans une enceinte incandescente, cheminent dans une direction déterminée, 60 sont réfléchis et 40 émis.

Sous l'angle 70 degrés, les premiers contiennent, d'après nos expériences, 0,29 à 0,30 de lumière polarisée parallèlement au plan d'incidence, c'est-à-dire une quantité absolue égale à $60 \times 0{,}30 = 18$.

Les seconds, d'après nos récentes mesures, contiennent 0,45 de lumière polarisée perpendiculairement au plan d'émission, ou, en quantité absolue, $40 \times 0{,}45 = 18$.

L'égalité se soutient donc.

Il en est de même, quelle que soit l'inclinaison du rayon que l'on considère sur l'élément dont il part. Ainsi, sous l'angle 50 degrés, on trouverait, d'après nos nombres :

Dans la partie réfléchie. $61 \times 0{,}17 = 10{,}4$ polarisée parallèlement au plan d'incidence.

Dans la partie émise.... $39 \times 0{,}265 = 10{,}3$ polarisée perpendiculairement au plan d'incidence.

Ainsi, il paraît bien établi que, dans une enceinte de platine incandescent, dont tous les points sont à même température, la lumière et la chaleur qui cheminent d'élé-

ment à élément, dans une direction quelconque, sont à l'état naturel.

Ce fait est indépendant de toute hypothèse; mais nous croyons utile de faire remarquer que si l'on admet l'idée de Fourier, que nous avons exposée plus haut, le théorème que nous venons de faire connaître est analogue à la loi de M. Arago sur l'égalité des quantités de lumière polarisée contenues dans les rayons réfléchis et réfractés à la surface d'une lame de verre.

On remarquera encore que ce théorème, s'il est général, indique qu'un corps, dénué de pouvoir réflecteur, ne pourra pas donner de chaleur ou de lumière polarisée par émission, puisqu'il n'en donne pas de polarisée par réflexion.

Nos expériences sur le noir de fumée confirment bien ces conséquences.

Nous avons supposé implicitement, dans tout ce qui précède, que la réflexion sur le platine porté au rouge est la même que sur le platine froid. C'est effectivement ce qui résulte des expériences que nous allons maintenant faire connaître. Elles sont délicates et demandent de grands soins. Mais nous avons fini par surmonter les difficultés que leur exécution présente, et de nombreux essais nous ont alors prouvé l'exactitude de la proposition que nous venons d'énoncer.

Une forte lampe, un miroir de platine, tantôt froid, tantôt chaud, la pile thermo-électrique, telles étaient les parties essentielles de l'appareil. Quant à leur disposition, nous dirons en deux mots qu'il est utile de placer la pile armée de son cône à une très-grande distance du miroir. On diminue ainsi beaucoup les chances d'erreur sans diminuer beaucoup l'action de la lampe, pourvu qu'on ait soin de placer derrière elle un réflecteur métallique, et devant elle une lentille qui dirige presque tous les rayons dans l'ouverture de la pile.

En conservant toujours aux différentes pièces les mêmes positions relatives, on observe les déviations produites :

1°. Par les rayons réfléchis sur le platine froid ;

2°. Par la chaleur qu'émet le platine incandescent ;

3°. Tout à la fois par les rayons qu'émet le platine rouge et par ceux qu'il réfléchit à cette température.

La dernière déviation doit être égale à la somme des deux premières, si le pouvoir réflecteur ne change pas avec la température ; elle doit être plus grande ou plus petite s'il augmente ou s'il diminue.

Or, de ces alternatives, c'est la première qui se réalise. Les écarts en plus ou en moins, car ils ne nous ont présenté aucune régularité, n'ont pas surpassé, dans la plupart des cas, $\frac{1}{33}$ du pouvoir réflecteur.

Indépendamment de l'usage implicite que nous avons fait de ce résultat dans la première partie de notre travail, on peut déduire de ces expériences des conséquences importantes qu'il suffira d'énoncer ici.

Si le pouvoir réflecteur du platine ne change pas, ou change très-peu lorsque ce corps passe de la température ordinaire à la température rouge, il faut en conclure qu'il en est de même de son pouvoir absorbant. Or le platine, réfléchissant 80 pour 100 de la chaleur émise par le platine rouge, absorbe et par conséquent émet 20 de cette même chaleur. Ainsi, le pouvoir émissif de ce métal double lorsqu'il passe de 150 à 900 degrés environ. Seulement il double, non pas à cause d'un changement dans l'état ou la densité de sa surface, mais par suite d'un changement dans la nature des rayons émis.

Il est à croire que les choses se passent d'une manière analogue pour les autres corps, lorsqu'on s'arrête à une température à laquelle ils ne sont point altérés. Mais ce sujet est étranger à celui que nous nous étions spécialement proposé de traiter dans ce Mémoire, nous n'y insisterons pas davantage aujourd'hui.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MARS 1851.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	762,76	+ 2,6		762,16	+ 5,1		761,50	+ 5,2		759,18	+ 3,5		+ 6,2	— 0,4	Couvert	O. N. O.
2	763,00	+ 1,3		765,01	+ 2,2		766,02	+ 2,5		767,22	+ 0,8		+ 3,4	+ 0,8	Beau	N. E.
3	767,00	— 0,4		765,50	+ 2,1		763,69	+ 3,8		762,06	+ 2,0		+ 3,7	— 3,3	Couvert	S.
4	759,83	+ 4,2		759,84	+ 8,2		759,28	+ 8,4		758,98	+ 5,3		+ 8,5	+ 1,8	Nuageux	S. O.
5	755,95	+ 5,8		754,20	+10,5		751,75	+10,7		748,50	+ 8,0		+11,2	+ 3,9	Très-nuageux	S. S. O.
6	749,86	+ 3,4		749,94	+ 6,2		750,31	+ 5,4		751,40	+ 4,7		+ 5,9	+ 3,4	Très-nuageux	O. violent.
7	754,03	+ 5,0		755,10	+ 5,8		755,12	+ 6,3		756,37	+ 4,7		+ 6,8	+ 4,1	Couvert	O.
8	757,79	+ 4,4		757,95	+ 6,3		758,04	+ 6,0		758,34	+ 2,8		+ 6,9	+ 3,4	Couvert	N.
9	759,22	+ 3,4		758,00	+ 5,9		756,36	+ 6,7		754,00	+ 0,6		+ 6,7	— 0	Beau	S. E.
10	749,08	+ 1,2		749,76	+ 4,3		751,94	+ 4,6		755,55	+ 2,0		+ 6,5	0,0	Couvert	O.
11	756,92	+ 3,4		756,86	+ 7,1		756,54	+ 7,3		757,00	+ 5,0		+ 7,7	+ 1,6	Couvert	O.
12	753,17	+ 3,0		751,74	+ 4,0		749,50	+ 5,6		748,24	+ 4,3		+ 5,7	+ 0,9	Pluie	S.
13	752,95	+ 7,3		753,20	+ 8,6		753,31	+ 7,4		754,48	+ 3,4		+ 8,6	+ 4,9	Couvert	O. S. O.
14	754,74	+ 6,4		754,10	+ 9,9		753,34	+11,3		752,70	+ 6,0		+11,6	+ 0,6	Beau	S. E.
15	749,88	+ 5,2		750,65	+ 6,9		751,38	+ 9,2		753,25	+ 5,4		+10,1	+ 4,2	Pluie	O.
16	754,97	+ 7,0		755,35	+ 9,2		753,00	+ 8,5		755,30	+ 6,3		+10,3	+ 5,5	Couvert	O.
17	753,68	+ 7,0		752,00	+ 8,7		748,70	+10,2		751,54	+ 8,1		+10,4	+ 4,7	Pluie	S.
18	756,24	+ 9,0		756,17	+11,3		755,39	+13,0		754,25	+10,3		+13,1	+ 8,0	Pluie	S. O.
19	753,10	+11,0		753,01	+13,5		751,96	+12,6		750,15	+11,8		+14,4	+ 9,2	Couvert	S. O.
20	746,60	+13,1		745,80	+13,3		745,15	+13,0		744,68	+10,6		+13,9	+10,4	Couvert	S. fort.
21	744,00	+ 9,8		743,93	+11,0		743,56	+12,0		743,73	+ 7,3		+12,2	+ 8,5	Pluie	S.
22	740,14	+11,2		737,73	+14,1		736,00	+11,0		737,00	+ 7,9		+14,0	+ 7,7	Couvert	S. très-viol.
23	740,81	+ 9,3		741,88	+12,1		743,18	+10,5		744,50	+ 7,6		+12,2	+ 7,2	Nuageux	S. très-fort.
24	748,78	+ 6,1		749,28	+12,6		751,32	+13,0		752,80	+ 8,3		+13,5	+ 3,2	Couvert	S. S. O
25	754,90	+ 9,8		754,76	+12,7		754,20	+10,4		752,40	+ 9,5		+13,5	+ 5,9	Nuageux	S.
26	750,98	+12,1		747,90	+14,8		745,92	+13,4		752,11	+ 5,0		+15,6	+10,8	Couvert	S. S. E.
27	753,11	+ 8,0		752,05	+11,0		750 82	+11,8		752,58	+11,3		+12,1	+ 4,9	Pluie	S. S. O.
28	754,23	+12,3		754,79	+16,4		755,97	+12,0		756,44	+10,8		+14,5	+11,3	Couvert	S. O. fort.
29	753,37	+11,8		752,02	+12,8		750,58	+12,8		749,77	+ 9,6		+13,2	+10,6	Nuageux	S. O.
30	752,12	+ 9,1		751,71	+11,1		751,61	+ 8,8		753,45	+ 6,0		+13,1	+ 6,0	Nuageux	S. O.
31	752, 2	+ 7,1		760,36	+ 8,5		761,25	+ 9,0		762,12	+ 6,0		+10,0	+ 1,6	Très-nuageux	N. O.

EXPÉRIENCES

Sur la formation des minéraux par voie humide dans les gîtes métallifères concrétionnés ;

PAR M. H. DE SENARMONT.

Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 24 mars 1851.

La géologie a des principes et des procédés d'investigation qui lui sont propres, et ces méthodes particulières lui ont servi à établir, sans aucun secours étranger, un certain nombre de vérités qui paraissent aujourd'hui complétement démontrées.

C'est ainsi qu'elle parvient, presque sans rien emprunter aux autres sciences d'observation, à coordonner la série des terrains sédimentaires, à y marquer des points de continuité ou de discontinuité, à caractériser le mode de formation des roches qui la composent, à découvrir, enfin, avec une probabilité presque équivalente à la certitude, les causes mécaniques de leur structure, de leur situation, et les phénomènes généraux auxquels on doit attribuer leur état actuel.

Les mêmes principes s'appliquent à l'étude des roches cristallisées, mais le problème présente ici des difficultés spéciales. Il ne s'agit plus seulement de reconnaître la place qu'occupent ces roches dans l'édifice géologique, il faut encore découvrir les secrets de l'opération naturelle qui les a produites; or ces secrets échappent à l'examen extérieur, car les roches cristallisées ont évidemment une origine toute chimique, et sont autant de produits divers de phénomènes bien plus complexes que les causes mécaniques, et dont les lois nous sont bien moins connues.

Malgré ces difficultés, la géologie a, par ses propres

forces, fait un premier pas dans l'étude des roches cristallisées; avec ses ressources bornées, mais fécondées par l'induction et par l'analogie, elle est parvenue à assigner une origine probable aux formations de diverse nature, et, tant qu'elle n'a pas voulu tirer des conséquences trop éloignées de ses principes, ses prévisions ont presque toujours été confirmées par l'expérience.

C'est à la chimie minéralogique que la géologie doit cet utile contrôle expérimental de ses conceptions rationnelles; elle seule peut descendre aux détails et au fond des phénomènes: toutes les fois donc que la géologie, remontant des effets aux causes, essayera de sortir des aperçus généraux, elle devra, pour ne pas s'égarer, s'appuyer à chaque pas sur une vérification chimique.

La chimie peut ainsi beaucoup pour la géologie, en lui prêtant ses méthodes; mais à la condition de rester elle-même minéralogique et de lui emprunter à son tour les moyens d'étude spéciaux qui ont servi à reconnaître à priori toutes les particularités conditionnelles de structure, de gisement, d'association ou d'exclusion mutuelle auxquelles certaines espèces minérales doivent satisfaire. Il faut que chacune des conditions de l'opération artificielle soit compatible avec toutes les circonstances où l'opération naturelle a laissé des traces caractéristiques; il faut, en un mot, que la synthèse chimique qui reproduira une seule des espèces minérales contemporaines d'un même gîte métallifère, s'applique en même temps à toutes les autres, ou qu'au moins elle soit incapable de les détruire en les désorganisant.

Les recherches de chimie minéralogique devraient donc toujours avoir pour guide une connaissance exacte des particularités de toute nature que présentent les espèces minérales dans leur gisement et dans leurs relations mutuelles. Malheureusement, l'étude des roches et des gîtes métallifères est très-loin d'être complète à cet égard. Il est évi-

dent, toutefois, qu'on se rapprochera le plus possible des procédés de la nature, si l'on arrive à reproduire les minéraux dans leurs conditions d'association possible, au moyen des agents chimiques naturels les plus répandus, et en imitant les phénomènes que nous voyons encore se réaliser dans les foyers où la création minérale paraît avoir concentré les restes d'une activité qu'elle déployait autrefois avec une tout autre énergie, mais qui produit, même aujourd'hui, des déjections ignées, gazeuses ou liquides.

Toutes les présomptions géologiques font en effet entrevoir certaine connexité, ou au moins de lointaines analogies entre ces phénomènes et ceux qui ont produit les roches cristallisées. Elles conduisent surtout à rapporter à ces trois types principaux la formation des diverses classes de gîtes métallifères (1); mais au delà de cette donnée générale, qui paraît établie sur d'assez grandes probabilités, tout est mystère et obscurité, et les détails demeurent entourés de difficultés sans nombre.

On n'a jamais, en effet, reproduit artificiellement la plupart des minéraux qui remplissent les filons. Beaucoup semblent appartenir à un ordre de composés qui nous est complétement inconnu; leurs éléments même ne paraissent pas avoir toujours obéi aux lois d'affinité que nous avons étudiées. L'analyse est restée muette sur ce point, et il reste à découvrir dans quelles conditions spéciales, avec quels agents particuliers, la nature a pu produire ces combinaisons exceptionnelles.

La synthèse chimique s'est déjà occupée, avec quelque succès, de ces questions, mais elle s'est principalement appliquée jusqu'ici à reproduire artificiellement les miné-

(1) *Voir* à ce sujet le remarquable travail de M. Élie de Beaumont, intitulé : *Note sur les émanations volcaniques et métallifères.* (Bulletin de la Société géologique de France, 2e série, tome XV, page 1249.)

raux cristallisés, plus ou moins comparables aux produits ordinaires de la *voie sèche;* et elle a seulement cherché, dans quelques réactions de la *voie humide,* l'explication d'un petit nombre de phénomènes isolés. J'ai voulu essayer si elle pourrait faire plus, et si, en prenant pour guide les données géologiques les plus probables, elle arriverait à retrouver la trace de l'opération naturelle qui a donné naissance aux diverses classes de gîtes métallifères. J'ai abordé ce vaste problème par l'étude expérimentale des dépôts concrétionnés qui se rapprochent le plus des formations actuelles, et les idées que je viens d'exposer ont été le point de départ logique de la première série de recherches que je soumets aujourd'hui à l'Académie.

Des gîtes métallifères très-importants, les plus nombreux peut-être, paraissent s'être formés par voie de dissolution. Leur structure générale, la présence même de certains composés qu'une forte chaleur sèche détruirait ou modifierait profondément par la réaction mutuelle des éléments qui les constituent, tout tend à prouver que ces gîtes ne sont autre chose que d'immenses canaux plus ou moins obstrués, parcourus autrefois par des eaux incrustantes.

Ces déjections liquides et gazeuses devaient être comparables à celles des geysirs ou aux sources thermales qui viennent encore aujourd'hui nous apporter quelques-unes des combinaisons formées dans les profondeurs du globe terrestre. Mais cette théorie suppose que les minéraux des filons concrétionnés ont dû se former par voie humide, et il fallait, pour lever tous les doutes, reproduire ainsi des composés qui, pour la plupart, n'ont pas de représentants dans les combinaisons ordinaires des laboratoires.

Les principes les plus répandus dans les sources thermales sont les acides carbonique et sulfhydrique, les sels alcalins, et, entre autres, les sulfures et les carbonates; ce

sont donc là les réactifs que j'ai d'abord songé à mettre en œuvre. Il faut supposer de plus, dans les *eaux mères* des filons, quelques éléments nécessaires à la formation des minéraux métalliques, mais cette hypothèse n'a pas besoin d'être justifiée. Les expériences mêmes dont je vais exposer les résultats, prouveront que les sources thermales doivent se dépouiller presque entièrement de ces principes, à mesure qu'elles arrivent au jour plus refroidies. On a d'ailleurs reconnu dans les eaux actuelles, ou dans leurs résidus, plusieurs de ces substances, quelques-unes en très-petite proportion; et pour en trouver un plus grand nombre, il ne faudrait évidemment que des recherches spéciales et des réactifs assez sensibles.

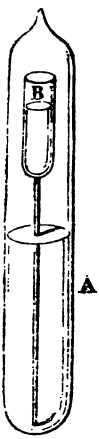
Parmi les influences de toute nature qui ont pu modifier, dans les canaux souterrains, les réactions chimiques ordinaires, on doit sans doute mettre au premier rang une pression et une température croissant avec la profondeur sans limites connues : la première ayant pour effet de maintenir les agents gazeux en dissolution forcée, la seconde, de favoriser certaines combinaisons ou certaines décompositions, devenant, par exemple, un obstacle à la formation des hydrates, même au sein des liquides.

Les procédés d'expérience qui placeront ainsi les agents chimiques en présence dans ces conditions spéciales, sont nécessairement bornés et entourés de difficultés de plus d'un genre. Il faudrait, en effet, que les réactions ne commençassent jamais qu'au moment convenable, qu'on eût toujours les moyens d'isoler les produits divers d'une réaction complexe, qu'on pût surtout opérer sur de grandes masses liquides. Il est peu de substances insolubles quand les dissolvants circulent par millions de litres; il n'en est presque pas de solubles quand on doit opérer, comme je l'ai fait, sur 60 à 80 centimètres cubes. Il devient alors nécessaire d'exalter outre mesure la faculté dissolvante, ou

par la chaleur ou par la concentration ; ce qu'on ne peut toujours faire sans que les affinités chimiques en soient troublées, et sans de grandes difficultés expérimentales. On pourra donc juger ce qu'il a fallu d'essais pour obtenir près de trente espèces minérales différentes, propres à représenter les types principaux des composés métallifères, et tous ces obstacles expliquent, du reste, pourquoi l'état cristallin des produits formés ainsi est quelquefois imparfait et toujours microscopique. Ce n'est pas, d'ailleurs, le volume des cristaux, c'est le fait même de leur création qui résout de pareils problèmes ; là est le point essentiel, et pour obtenir davantage il ne faudrait, suivant l'expression de Daubenton, que « le temps, l'espace et le repos, » puissants moyens qui n'appartiennent qu'à la nature.

On comprendra d'ailleurs que je ne prétends pas établir qu'elle a procédé, comme dans plusieurs de ces expériences, en opérant après coup sur des produits tout formés pour les faire cristalliser ou pour en modifier la composition par des menstrues appropriés. Je ne pouvais reproduire, dans toute leur réalité, les phénomènes naturels ; mais si les conditions initiales de ces phénomènes, et le milieu dans lequel ils se sont accomplis, se rapprochaient dès l'origine de ce que j'ai cherché à réaliser, n'est-il pas évident que les éléments chimiques ne pouvaient s'unir et les espèces minérales se former que dans l'état où je les ai obtenues, puisque ces conditions suffisent même pour métamorphoser ou détruire des combinaisons préexistantes.

La méthode expérimentale que j'ai employée dans toutes ces expériences, consiste essentiellement à produire les réactions convenables dans un milieu liquide et dans des vases hermétiquement clos, qu'on peut chauffer à une haute température.



Je mettais en présence les divers agents chimiques dans des tubes de verre à demi remplis d'eau et scellés à la lampe, après qu'on y avait fait le vide. Si ces agents sont de nature à se décomposer immédiatement, on les place d'abord dans des tubes séparés A et B, et un retournement les mélange en temps opportun; on peut aussi enfermer l'une des dissolutions dans une ampoule très-mince avec une bulle d'air : la dilatation de cet air brise l'ampoule quand la chaleur est devenue assez forte.

Des tubes en verre épais, suffisamment étroits, supportent des pressions considérables. On peut les rendre capables de résister à des efforts énormes en les plaçant dans un canon de fusil fermé, et lui-même presque rempli d'eau. La tension de la vapeur du dehors en dedans et du dedans en dehors s'équilibre alors sur les deux parois extérieure et intérieure du tube en verre. J'avais fait braser au laiton un tampon de fer à l'une des extrémités de ces canons de fusil; du côté de la culasse était adapté un bouchon à vis, dont la tête venait en recouvrement s'appuyer sur l'épaisseur même de cette culasse ; entre ces deux surfaces planes j'interposais un anneau en cuivre rouge ductile, que j'écrasais ensuite par une forte pression. Ce moyen produit une clôture hermétique qui résiste assez bien à une haute température. Il est difficile, néanmoins, d'éviter toute fuite, et, quand on chauffe longtemps, il arrive quelquefois que cette seconde enveloppe se vide et devient inutile.

Je déposais les tubes couchés sur le dôme des fours à gaz de l'usine d'Ivry. Lorsqu'on choisit convenablement l'emplacement et qu'on ensevelit les vases dans du poussier de charbon, on peut obtenir sur ces fours des tempé-

ratures à peu près constantes, depuis 100 degrés jusqu'au rouge sombre. Un thermomètre, plongé dans le poussier de charbon, servait à évaluer les températures d'une manière qui n'était pas absolument rigoureuse, celles-ci n'étant pas, d'ailleurs, tout à fait invariables.

Il importe de se mettre en garde contre les explosions, qui sont fréquentes et d'une grande violence, malgré la petite quantité de liquide.

On doit choisir des tubes en verre vert et dur; malgré cette précaution, ils sont quelquefois fortement corrodés par l'eau pure longtemps suréchauffée. Cette altération est bien plus forte par des liqueurs acides, plus encore peut-être par des liqueurs alcalines, et je crois devoir, dès à présent, en signaler les résultats.

La croûte externe du verre paraît moins attaquable que sa masse; elle se soulève en larges écailles criblées de vacuoles et composées de silice pure: du côté de la paroi superficielle, elles sont faiblement dépolies; mais du côté où elles étaient primitivement adhérentes, elles sont hérissées d'aspérités semblables à une végétation microscopique. Le verre, dépouillé ainsi de son épiderme, présente la même apparence.

Quelques parties de ces écailles siliceuses agissent fortement sur la lumière polarisée à la manière des cristaux.

Il résulte généralement de cette altération du verre, qu'une certaine quantité de silice gélatineuse entre en dissolution ou flotte en suspension dans le liquide.

On verra plus tard que certaines cristallisations paraissent se former de préférence au milieu du réseau siliceux adhérent au verre et aux écailles soulevées.

Dans les conditions d'expérience où je me suis placé, j'ai obtenu quelquefois des résultats inattendus, parce que les réactions chimiques ordinaires se trouvaient interverties. Je pouvais plus habituellement en prévoir et en combiner à

avance les effets. J'indiquerai brièvement les principes qui m'ont servi de guide et les phénomènes que j'ai observés dans cette longue série de recherches.

L'élévation de température produit toujours une tendance à la déshydratation; un milieu liquide en retarde peut-être l'effet, mais ne paraît pas exercer par lui-même une très-grande influence. Les corps dépouillés ainsi de leur eau de constitution prennent d'ailleurs des propriétés chimiques spéciales, forment de nouvelles combinaisons ou abandonnent leurs combinaisons primitives. C'est ainsi qu'à une certaine température, une dissolution de sulfo-antimonite alcalin verdit, et qu'en présence d'un excès d'acide carbonique elle dépose du sulfure d'antimoine anhydre. C'est ainsi que la silice gélatineuse, devenue presque indifférente aux affinités chimiques, se sépare de ses dissolutions à l'état de quartz cristallisé, ou qu'une dissolution étendue de perchlorure de fer se dédouble en acide chlorhydrique libre et en sesquioxyde anhydre.

Les corps déshydratés deviennent quelquefois aptes à entrer à l'état naissant en combinaison avec quelque élément nouveau qui remplace l'eau éliminée. Lorsque cet élément se trouve dans le milieu, naturellement ou en vertu d'une pression qui l'y maintient, il se produira des composés permanents qui n'auraient pu prendre naissance dans des circonstances différentes, mais qui persistent une fois formés et peuvent même être très-stables. Telle est évidemment l'origine de beaucoup de sulfures et de carbonates.

L'excès de soufre des polysulfures alcalins les abandonne facilement, et ces polysulfures seront en général d'énergiques agents de sulfuration. Toutefois leur action peut être singulièrement modifiée par leur mélange avec les bicarbonates. Si l'on chauffe en vases clos une dissolution mixte de polysulfure et de bicarbonate alcalin, vers 200 degrés il n'y a plus simplement mélange, la solution se décolore et ne paraît renfermer que de l'hyposulfite et du protosulfure

ratur
rouf
de
ni
n'

avec un excès d'acide carbonique en dissolution forc
quand on ouvre le vase, cet acide carbonique, mêlé d'a
sulfhydrique, se dégage avec effervescence. On compr
donc que, suivant les proportions relatives du polysulfur
du bicarbonate, le mélange agira comme sulfurant
comme désulfurant avec une énergie variable.

A cause de cet antagonisme du soufre et de l'acide car
nique qui tendent à se déplacer mutuellement, et sous c
double influence qui s'équilibre presque dans des limites
sez étendues, les éléments se réuniront à peu près lil
ment, par leurs affinités propres, en combinaisons définic
permanentes.

Les bicarbonates alcalins ne sont pas d'ailleurs seulen
des désulfurants, ils soustrairont presque toujours l'e:
d'élément électronégatif quelconque qui ne serait pas
tenu dans une combinaison très-intime; c'est ainsi,
exemple, qu'ils modifient la composition des sulfo-arsénit
des sulfo-antimonites. Cette tendance balancée et peut-
limitée par les affinités croissantes de l'acide carboni
éliminé qui reste en dissolution dans le menstrue, ramèr
généralement les composés aux proportions fixes les
stables, et ces proportions correspondent presque touj
à quelque espèce minérale définie.

Le résultat final de l'action des bicarbonates alcalins
rie d'ailleurs d'une manière remarquable sous l'influ
de la température et probablement de la déshydrata
qu'elle est capable de produire. Ainsi le persulfure d'a
moine, qui forme habituellement avec les carbonates a
lins une dissolution à peine colorée, donne souvent à
haute température une dissolution verte qui dépose d'al
du sulfure d'antimoine anhydre cristallisé, puis séparén
du soufre pulvérulent enlevé ainsi à la combinaison a
moniale primitive. L'or mussif, le réalgar, présentent
phénomènes semblables; mais ces effets, faciles à const
exigent certaines proportions relatives, des conditions

forcée[illegible]nées de température et de concentration. Avec des d'acid[illegible]stances différentes, les produits sont différents. Toutes npren[illegible]articularités mériteront sans doute une étude spéciale, fure[illegible] je me suis borné jusqu'ici à constater les faits sans nt o[illegible]suivre des expériences trop éloignées de l'objet princi-[illegible]de mes recherches.

arbo[illegible]vec ces moyens d'action et quelques autres d'un effet s cet[illegible]s général qui seront détaillés plus loin, j'ai formé es a[illegible]ciellement un grand nombre de composés naturels. libre[illegible]que famille de minéraux vient se grouper autour d'un ies e[illegible]t générateur commun; on pourrait donc les classer [illegible]si en raison de la composition présumée des déjec-men[illegible]s thermales qui auraient servi à les produire. Je n'ai exclu[illegible]s voulu faire ce rapprochement trop absolu, et qui me re[illegible]uit aller au delà de l'interprétation immédiate des faits; par[illegible]i obtenu en effet, par des moyens naturels, un certain es[illegible]mbre d'espèces minérales, mais je n'ai pas démontré que être[illegible]s moyens fussent les seuls ni que ces espèces aient dû tou-que[illegible]rs et nécessairement être créées de cette manière. Je me era[illegible]rnerai donc à rappeler ici tous les produits que j'ai for-lus[illegible]s artificiellement et les diverses classes de composés mi-ers[illegible]raux auxquelles ils se rapportent.

MÉTAUX NATIFS.

Un certain nombre de métaux existent dans la nature à l'état natif; plusieurs même, à cause de leurs affinités très-faibles, ne se trouvent que sous cette forme, qui peut être alors le dernier résultat de réactions d'ailleurs très-dissemblables. Le fer natif est, au contraire, extrêmement rare, et paraît s'être formé dans des conditions tout exceptionnelles. Quant à l'argent, au cuivre, au bismuth, à l'antimoine et à l'arsenic natifs, on les rencontre assez communément, pour croire que les circonstances capables de les produire ont dû se trouver fréquemment réalisées.

Argent et cuivre natifs.

L'argent et le cuivre natifs sont associés à diverses espèces de minerais argentifères et cuprifères. Leurs gisements les plus remarquables peut-être, ceux de l'Amérique du Nord les montrent réunis sans être alliés, accompagnés d'ailleurs de datholite, de prehnite, d'analcime, de laumonite, de minéraux hydratés, dont quelques-uns sont très-facilement décomposables.

Ces gisements ont donc tous les caractères d'une formation par voie humide, et l'on peut, en effet, comme on va le voir, obtenir ainsi de l'argent ou du cuivre métalliques dans des conditions parfaitement compatibles avec cette association caractéristique de minéraux divers.

J'ai constaté que les dissolutions d'un sel d'argent ou de cuivre, chauffées depuis 150 jusqu'à 250 degrés, en présence de matières combustibles quelconques, se réduisent complétement, les sels d'argent avant les sels de cuivre; de sorte que les deux métaux se précipitent en pellicules ou en filaments, séparément dans un même milieu. Or la présence de diverses matières combustibles dans les sources thermales ou dans les émanations gazeuses, est un fait bien constaté et presque général. Ces matières peuvent donc avoir contribué à la formation de certains filons, et, au besoin, on pourrait citer, comme preuve, les composés bitumineux qui imprègnent encore beaucoup de roches cristallisées et quelques minéraux, par exemple les cristaux de quartz et de baryte sulfatée.

Arsenic natif.

Lorsque j'ai cherché à produire les mêmes réactions sur le bismuth, l'antimoine, l'arsenic, je n'ai pu éviter, à 250 degrés et au-dessus, des explosions causées, probablement, par un développement de gaz permanents. Avec un degré moindre de chaleur, on n'observe que des indices très

ivoques de réduction; mais j'ai obtenu l'arsenic métal-
que au moyen d'une réaction différente.

M. Berzelius a établi que, dans certaines conditions, les
posulfo-arsénites se décomposent par voie humide en pro-
isant un sous-sulfure d'arsenic ($As^{12}.S?$).

Si l'on chauffe à 250 degrés environ ce sous-sulfure avec
e dissolution de bicarbonate de soude, il se dissout un
lfure d'arsenic, et de l'arsenic métallique reste à l'état de
oudre d'un brun noir. Je l'ai séparée de la dissolution
lande pour éviter toute réaction inverse ultérieure. Cette
dissolution avait une odeur fétide d'hydrogène arsénié.

Le résidu noirâtre, débarrassé, par lévigation, de quel-
ues flocons plus légers qui auraient pu contenir un peu de
ous-sulfure, est de l'arsenic métallique, entièrement volatil,
ns un tube fermé, sans aucun sublimé rougeâtre de sul-
re d'arsenic. Sa dissolution acide dans l'acide azotique ne
écipite pas l'azotate de baryte.

En traitant à 325 degrés environ du réalgar par une dis-
lution de bicarbonate de soude contenant un poids de sel
plus égal à celui du réalgar, j'ai obtenu le même résidu
un d'arsenic métallique, plus ou moins mélangé de sous-
lfure.

Ces transformations paraissent d'ailleurs modifiées, non-
ulement par la température et la proportion relative des
bstances réagissantes, mais par le plus ou moins de con-
entration des liqueurs. On verra de nouveaux exemples de
es faits lorsqu'il sera question du réalgar et de l'antimoine
ulfuré.

L'arsenic métallique, obtenu ainsi, n'est pas cristallisé,
mais le produit naturel ne l'est pas davantage. On remar-
quera d'ailleurs que ce dernier se rencontre fréquemment
dans les mêmes gisements que le réalgar au moyen duquel
je l'ai obtenu.

OXYDES.

Quartz. SiO^3.

Je me suis peu occupé, jusqu'ici, de la reproduction tificielle des oxydes anhydres ou hydratés. Les hydrates souvent amorphes, et plusieurs oxydes n'appartienn qu'accidentellement aux filons concrétionnés. La silice le seul qui soit généralement répandu; à l'état de qua elle tient la première place parmi les gangues pierre des gîtes de tous les âges.

Les procédés chimiques ordinaires donnent la silice s forme gélatineuse, hydratée, plus ou moins condensée, m toujours amorphe, et se rapprochant tout au plus des opal sans la forme ni aucune des propriétés du quartz propr ment dit. Il était donc très-intéressant de chercher les c ditions nécessaires à la production du cristal de roche.

La silice gélatineuse, à l'état naissant, est assez solul dans l'eau chargée d'acide carbonique, et plus encore d l'acide chlorhydrique étendu. Si l'on chauffe très-lenteme une pareille dissolution, à 200 ou 300 degrés, la silice hydre cristallise sous la forme de quartz.

Ce quartz artificiel est, comme le cristal de roche n turel, infusible au chalumeau, insoluble dans tous les m strues, excepté dans l'acide fluorhydrique. Il cristallise prismes hexaèdres, terminés à chaque bout par des py mides hexaèdres. Les faces prismatiques sont finement stri en travers, les faces pyramidales lisses, quelquefois égal d'autres fois inégalement développées, de manière à p duire, par leur assemblage, les irrégularités terminales bi connues; la surface externe est quelquefois cariée; en chacune de ces particularités est une reproduction exact non-seulement des caractères essentiels des cristaux nat rels, mais des plus minutieux détails de leur structure.

Presque tous les prismes hexagones se couchent horizo

lement sur le porte-objet du microscope : ils sont parfaitement diaphanes. Si on les observe entre deux prismes de Nicol, les faces parallèles qui laissent traverser la lumière se teignent des plus vives couleurs. On peut donc s'assurer très-facilement que les lignes neutres sont, l'une parallèle, l'autre perpendiculaire à l'axe de figure. L'action très-sensible de la lumière polarisée fait reconnaître pour du quartz cristallisé des fragments anguleux de forme indéterminée, d'ailleurs parfaitement transparents, qui se produisent toujours en même temps que les cristaux réguliers et ordinairement en beaucoup plus grande quantité.

Cette formation artificielle du quartz par voie humide n'est que la démonstration expérimentale d'un fait établi par des preuves rationnelles nombreuses. Le cristal de roche enveloppe, en effet, dans sa masse, des matières minérales qui semblent y avoir été déposées exprès comme des *témoins naturels,* des *pièces d'essai* qui attestent son origine. Ainsi, il est souvent criblé de vacuoles à demi remplies de gaz et de liquides très-volatils; il renferme des cristaux de fer spathique, de fer hydroxydé, de chlorite; il incruste des carbonates et des hydrates; il se trouve, enfin, répandu au milieu des gypses et des terrains stratifiés de tous les âges.

J'obtenais une dissolution de silice dans l'acide chlorhydrique en délayant le chlorure de silicium dans l'eau, ou, plus simplement, en décomposant une dissolution étendue de silicate alcalin par l'acide chlorhydrique dilué. Un grand excès d'acide empêcherait ou retarderait la déshydratation d'une partie de la silice, et serait, par conséquent, un obstacle à la formation du quartz.

Pour mettre la silice gélatineuse à l'état naissant en présence d'une dissolution très-chargée d'acide carbonique, j'ajoutais dans des tubes en verre à une dissolution de bicarbonate de soude une ou deux gouttes de silicate alcalin et un excès d'orpiment ou de réalgar. Aucune réaction ne

s'établit à froid, et il est facile de fermer le tube de ver après l'avoir purgé d'air; à chaud, au contraire, les sulfu déplacent l'acide carbonique, sans agir eux-mêmes sur silice gélatineuse.

Je n'obtiens dans chaque opération que 1 ou 2 mil grammes de sable quartzeux très-fin, que je purifie p lévigation dans un verre de montre, ou que je débarra des sulfures d'arsenic en le traitant successivement p la potasse et par l'eau régale. J'ai déjà dit qu'on n'obti pas toujours des grains de forme régulière, mais qu' agissent constamment sur la lumière polarisée.

Fer oligiste (*hématite rouge*). $Fe^2 O^3$.

On sait que le fer spéculaire se forme par sublimatio et il est probable que tous les gîtes de fer oligiste mét loïde participent plus ou moins de la même origine. M comme ils sont remplis partiellement d'hématite rou amorphe, je crois devoir exposer avec quelques détails expériences que j'ai faites sur la déshydratation du s quioxyde de fer : elles pourront expliquer cette formati partielle d'hématite rouge, et ne sont pas d'ailleurs s intérêt pour la géologie des terrains stratifiés.

Le sesquioxyde de fer anhydre et amorphe est en e répandu, dans un grand nombre de terrains, suivant de modes très-différents.

Tantôt il imprègne tout un ensemble de roches de for tion mécanique, évidemment stratifiées, et qui n'ont éprou aucun dérangement important postérieur à leur dépôt, sorte qu'il est impossible de se refuser à regarder l'oxy de fer comme précipité à l'état anhydre au sein des ea qui tenaient en suspension des matières vaseuses ou a nacées; tantôt la présence de l'oxyde anhydre est locale en rapport manifeste de voisinage et d'origine avec c taines masses minérales éruptives : de sorte qu'il a été é

demment introduit, formé ou modifié après coup à l'intérieur des roches rubéfiées qui le renferment.

Dans ces deux gisements, essentiellement dissemblables, l'oxyde de fer accompagne fréquemment des dolomies, du sel gemme, des anhydrites, des gypses; et quoique ces matières s'y montrent avec des manières d'être tout à fait différentes, l'étroite connexité d'allure et de gisement qu'elles ont toujours entre elles, leur association, qui persiste même dans des conditions générales de formation absolument opposées, prouvent qu'une concomitance d'effets aussi constante ne saurait être fortuite, et ne permettent pas d'y voir autre chose que des produits divers d'une même opération naturelle. Il faut donc en conclure que les mêmes phénomènes, ou au moins des phénomènes analogues, se sont passés dans les masses liquides qui déposaient certaines roches stratifiées, et ont accompagné l'apparition de certaines roches éruptives.

On sait déjà, par la belle expérience de M. Haidinger, que la dolomie et l'anhydrite peuvent être un double produit épigénique de la réaction par voie humide du sulfate de magnésie sur le carbonate de chaux. Les essais dont j'exposerai plus loin les résultats prouveront que des calcaires magnésiens, et même du carbonate de magnésie, pourraient se déposer dans certains cas au fond des eaux suréchauffées. On aura fait sans doute un pas de plus vers la solution du problème, si l'on montre que la déshydratation du sesquioxyde de fer s'opère dans les mêmes conditions, et ne suppose pas nécessairement des réactions comparables à celles de la voie sèche. Tel était le but et telle est aussi la conclusion des expériences suivantes :

J'ai décomposé une dissolution de perchlorure de fer par du carbonate de chaux ou du carbonate de soude à 300 degrés environ, et j'ai obtenu, avec du sesquioxyde de fer rouge et anhydre, amorphe, quelques lamelles micacées rouges flottantes dans la liqueur; mais je n'oserais décider si elles

provenaient d'une cristallisation, ou si elles étaient formées par des pellicules primitivement déposées et adhérentes sur la paroi du verre.

A 200 degrés, la même décomposition m'a donné de l'oxyde de fer anhydre rouge très-divisé, peu soluble dans l'acide azotique. Enfin le résultat était encore le même à des températures de 180 et 160 degrés soutenues pendant huit jours.

J'ai déshydraté dans les mêmes conditions l'hydrate de sesquioxyde tout formé, mis en suspension dans l'eau pure et dans des dissolutions saturées de sel marin ou de chlorure de calcium. Rien n'indiquait d'ailleurs que ces températures fussent les plus basses auxquelles on pouvait obtenir les mêmes effets.

Si l'on remarque maintenant que le sulfate de chaux se précipite anhydre dans un liquide suréchauffé, et que la solubilité du carbonate de soude, supérieure à celle du chlorure de sodium, croît bien plus rapidement avec la chaleur, on pourra s'appuyer sur les réactions étudiées isolément, et qui sont relativement simples, pour arriver à concevoir les phénomènes complexes qui ont donné naissance à l'association multiple de matières minérales dont on a parlé ci-dessus.

On pourra, en effet, s'expliquer ces phénomènes, sinon dans leurs détails, au moins dans leur ensemble, par diverses combinaisons qui satisferaient également aux données générales du problème : il suffirait, par exemple, que des eaux chargées de chlorures de calcium, de magnésium et de fer vinssent se mêler, sous certaines conditions de température, et, par conséquent, de pression, à des eaux saturées de carbonate, et contenant plus ou moins de sulfate de soude, pour donner lieu en même temps à des dépôts de calcaires magnésiens, d'anhydrites, d'hématite rouge et de sel gemme.

Je mentionnerai encore ici une autre circonstance où le sesquioxyde de fer se sépare à l'état d'hématite rouge. Ce

mode de production n'a pas sans doute un rapport immédiat avec la formation des gîtes concrétionnés, ni même avec la présence de l'oxyde anhydre dans les terrains sédimentaires ; mais il paraît se rattacher à la génération des dépôts qui, comme ceux du fer oligiste, présentent une sorte d'état intermédiaire, de transition mixte entre les formations par *incrustation* et par *sublimation*.

Si l'on chauffe à 250 degrés environ une dissolution étendue de perchlorure de fer, l'acide chlorhydrique devient libre, et le sesquioxyde amorphe, rouge, et difficilement soluble, se précipite entièrement de la liqueur acide ; l'indifférence chimique qu'il acquiert ainsi a suffi pour dédoubler la combinaison préexistante. C'est un phénomène analogue à la déshydratation par voie humide, mais qui, d'un autre côté, rappelle la production du fer spéculaire au moyen de la mutuelle décomposition du perchlorure de fer et de l'eau en vapeur.

CARBONATES.

Beaucoup de filons concrétionnés sont remplis à peu près exclusivement de carbonates, et ceux-ci servent très-habituellement de gangue principale à d'autres minéraux. Plusieurs de ces carbonates se forment facilement, sans aucune condition spéciale, et leur cristallisation naturelle s'explique par leur solubilité bien connue dans une eau chargée d'acide carbonique. J'ai commencé mes expériences par la reproduction artificielle de ceux qu'on ne pourrait obtenir par la double décomposition ordinaire. Depuis longtemps déjà, j'ai communiqué à l'Académie les premiers résultats de mes recherches sur ce point (1). Mais je crois devoir les

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXVIII, page 693. *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXX, page 129.

réunir aujourd'hui à ceux des travaux postérieurs qui les complètent.

J'ai employé pour former les carbonates deux procédés d'expérience différents ; le premier, que j'appellerai, pour abréger, *par double décomposition*, consiste à produire dans des tubes entièrement clos, à une température élevée, la double décomposition d'une dissolution d'un sel soluble et d'un carbonate neutre soluble ou insoluble (carbonate neutre de soude ou carbonate de chaux).

La seconde méthode, que j'appellerai *par précipitation*, consiste à précipiter un sel soluble par un bicarbonate alcalin dans une eau sursaturée d'acide carbonique qui se dégage lentement à une haute température. Cette opération imite évidemment la précipitation lente du carbonate dissous dans un excès d'acide carbonique.

On place, dans une épaisse bouteille de grès presque pleine d'une dissolution de bicarbonate sursaturée d'acide, une ampoule de verre qui renferme le sel soluble ; on ferme ensuite la bouteille avec un bouchon de liége, de plâtre ou de terre cuite difficilement perméable aux gaz, mais qui cependant les laisse fuir sous une pression forte et prolongée ; on brise ensuite l'ampoule, au moment convenable, par l'agitation, ou au moyen d'une tige qui traverse le bouchon. Ces bouteilles étaient posées debout, et ensevelies jusqu'au goulot dans du poussier de charbon.

Magnésie carbonatée. MaO, CO^2.

La magnésie carbonatée, ou plutôt les composés hybrides qui résultent de l'association de cette espèce minérale simple avec les carbonates de chaux et de fer, se trouvent en cristaux dans les filons et dans certains terrains métamorphiques ; ils constituent aussi des roches plus ou moins cristallisées, quelquefois massives, quelquefois stratifiées.

On connaît la belle expérience de M. Haidinger sur la

formation épigénique de la dolomie, et M. Marignac a produit le carbonate de magnésie, en faisant réagir le chlorure de magnésium sur le carbonate de chaux. Je l'ai obtenu, de mon côté, par double décomposition du carbonate neutre de soude et du sulfate de magnésie, vers 160 degrés, et en dégageant, à 150 degrés environ, l'excès d'acide d'une dissolution de carbonate de magnésie dans l'acide carbonique.

Le carbonate de magnésie est un sable blanc, cristallin, à peine attaquable par les acides affaiblis, composé de rhomboèdres transparents agissant sur la lumière polarisée, et bien reconnaissables au microscope.

Une dissolution de magnésie dans l'acide carbonique, mélangée de chlorure de calcium, ne se trouble pas immédiatement. Si on laisse l'acide se dissiper librement à la température ordinaire, ou si l'on chauffe la dissolution à différents degrés, on obtient des produits divers.

A 100 degrés et au-dessous, lorsque la quantité de chlorure de calcium est plus qu'équivalente à la quantité de magnésie en dissolution, on n'obtient que du carbonate de chaux sans trace de magnésie.

A 150 degrés, avec une quantité de chlorure de calcium soit plus, soit moins qu'équivalente à la magnésie contenue dans la dissolution, le précipité est du carbonate de magnésie renfermant à peine quelques traces de chaux.

La dolomie en proportions atomiques existe-t-elle comme espèce minérale définie? On doit presque en douter, aujourd'hui que l'analyse nous montre les carbonates de magnésie et de chaux associés en proportions à peu près indéterminées. On peut tout au plus admettre que la composition de ces unions complexes oscille de préférence autour de certains points de stabilité maximum. Correspondent-ils à des températures définies? C'est là une question expérimentale délicate, parce qu'elle doit dépendre de quelques conditions très-fugitives. Je n'avais pas de moyens assez faciles de régler la chaleur pour essayer de la résoudre.

	I.	II.	III.	IV.	V.	Compos. calculée.
Magnésie.....	0,48	0,476	0,48	0,421	0,482	0,484
Chaux.....	»	»	»	0,070	»	»
Ac. carboniq. (par différ.)	0,52	0,524	0,52	0,509	0,518	0,516
	1,00	1,000	1,00	1,000	1,000	1,000

I et II. Produits de la *double décomposition*, à 160 et à 175 degrés, du carbonate de soude et du sulfate de magnésie.

III. Produit du dégagement, vers 155 degrés, de l'excès d'acide carbonique qui dissolvait du carbonate de magnésie.

IV et V. Produits du dégagement, vers 150 degrés, de l'excès d'acide carbonique qui servait de dissolvant au carbonate de magnésie, en présence d'une quantité de chlorure de calcium plus qu'équivalente, et moins qu'équivalente à la magnésie dissoute.

Fer carbonaté. FeO, CO^2.

Le fer carbonaté naturel appartient essentiellement aux gîtes concrétionnés; une de ses variétés se trouve dans les terrains stratifiés. On ne rencontre jamais dans la nature l'espèce simple, et son union aux carbonates de chaux et de magnésie, de manganèse, paraît se faire en toutes proportions; on ne l'a pas encore formé artificiellement.

J'ai obtenu le carbonate de fer pur à l'état de sable cristallin d'un blanc grisâtre, à peu près inaltérable à l'air sec, et prenant très-lentement, même à l'air humide, une faible couleur blonde superficielle. Ce sable est composé de rhomboèdres transparents agissant sur la lumière polarisée, quelquefois très-distincts sous le microscope; il a toutes les propriétés du fer spathique.

Il est d'autant plus blanc et plus inaltérable qu'on l'a préparé avec un sel de fer plus complétement exempt de suroxydation. Sa teinte grise paraît aussi, toutes choses égales

d'ailleurs, d'autant moins foncée, et son altérabilité spontanée d'autant moindre, qu'il s'est formé à des températures plus élevées et plus longtemps soutenues. Peut-être doit-on attribuer à quelques circonstances de ce genre les différences que présentent, à cet égard, les fers spathiques naturels, différences que n'explique pas toujours suffisamment leur composition variable.

On a dosé par différence, tantôt l'acide carbonique, tantôt l'oxyde de fer, en suivant deux procédés d'analyse :

1°. Le résidu de la calcination peroxydé par quelques gouttes d'acide azotique, calciné de nouveau, pesé, était ramené au minimum par le calcul.

2°. Le carbonate calciné avec l'oxyde de cuivre abandonnait son acide, qui était recueilli et pesé, comme dans une analyse organique. Ce dernier procédé a servi également à l'analyse des carbonates de manganèse, de cobalt et de nickel.

	I.	II.	III.	IV.	V.	Compos. calc.
Protoxyde de fer.	0,515	0,62	*0,62	*0,619	*0,623	0,621
Chaux...	0,095	»	»	»	»	»
Ac. carb.	*0,390	*0,38	0,38	0,381	0,377	0,379
	1,000	1,00	1,00	1,000	1,000	1,000

Les nombres marqués d'un astérisque sont obtenus par différence.

I et II. Produits de la *double décomposition* du carbonate de chaux et du protochlorure de fer à des températures de 135 et 180 degrés soutenues douze et dix-huit heures.

III. Produit de la *précipitation*, au-dessus de 200 degrés, du sulfate de fer par le bicarbonate de soude.

IV. Produit de la *précipitation*, vers 150 degrés, du protochlorure de fer par une dissolution de bicarbonate de soude sursaturée d'oxyde.

V. Produit de la *précipitation*, à 130 degrés, du sulfate de

fer par une dissolution de bicarbonate de soude sursaturée d'oxyde.

Manganèse carbonaté. MnO, CO^2.

Le manganèse carbonaté naturel se trouve dans quelques filons, associé aux carbonates de chaux et de magnésie; il est d'ailleurs bien moins commun que les espèces précédentes. Rarement il est en cristaux, habituellement en masses imparfaitement cristallisées. Quand on l'obtient par *double décomposition*, il se présente comme une poudre d'un blanc à peine rosé, excessivement fine, dans laquelle on ne distingue des grains cristallins qu'avec un fort grossissement. La *précipitation* donne un produit plus cristallin. Le microscope y montre des grains transparents, groupés en étoiles, agissant sur la lumière polarisée, mais dont il n'est pas très-facile de reconnaître la forme.

Il est inaltérable à 100 ou 120 degrés et facilement soluble dans les acides.

	I.	II.	III.	Compos. calc.
Protoxyde de mangan.	0,612	*0,615	*0,609	*0,618
Acide carbonique....	*0,388	0,385	0,391	0,382
	1,000	1,000	1,000	1,000

Les nombres marqués d'un astérisque sont obtenus par différence.

I. Produit de la *double décomposition* du chlorure de manganèse et du carbonate de chaux vers 150 degrés de température soutenue dix-huit heures.

II. Produit de la *précipitation*, vers 160 degrés, du chlorure de manganèse par le carbonate neutre de soude.

III. Produit de la *précipitation*, vers 150 degrés, du chlorure de manganèse et d'une dissolution de bicarbonate de soude sursaturée d'acide.

Cobalt carbonaté. CoO, CO^2.

On rencontre rarement le carbonate de cobalt dans la nature, et jamais à l'état de pureté. Il entre pour 0,13 dans une chaux carbonatée de Przibram en Bohème.

Je l'ai obtenu à l'état de sable cristallin, d'un rose clair, composé de rhomboèdres reconnaissables au microscope et transparents, agissant sur la lumière polarisée, inattaquable à froid par les acides azotique et chlorhydrique.

	I.	II.	Compos. calcul.
Protoxyde de cobalt (par diff.)	0,627	0,633	0,63
Acide carbonique.....	0,373	0,367	0,37
	1,000	1,000	1,00

I. Produit de la *double décomposition* du chlorure de cobalt et du carbonate de chaux à la température de 150 degrés soutenue pendant dix-huit heures.

II. Produit de la *précipitation*, à 150 degrés, du chlorure de cobalt par une dissolution de bicarbonate de soude sursaturée d'acide.

Nickel carbonaté. NiO, CO^2.

Le carbonate neutre ne paraît pas encore avoir été trouvé dans la nature ni pur ni à l'état de mélange; il n'est pas douteux qu'on l'y rencontre un jour. Quelques minéraux d'Amérique sont composés d'hydrato-carbonate.

Je l'ai obtenu à l'état de sable cristallin d'un blanc verdâtre, composé de rhomboèdres transparents, agissant sur la lumière polarisée et bien reconnaissables au microscope. Il est inattaquable à froid par les acides azotique et chlorhydrique.

	I.	II.	Composit. calculée.
Protoxyde de nickel (par diff.)	0,63	0,626	0,631
Acide carbonique.....	0,37	0,362	0,369
	1,00	0,988	1,000

I et II. Obtenus dans les mêmes circonstances que les produits correspondants du cobalt.

Zinc carbonaté. ZnO, CO^2.

Le zinc carbonaté naturel se trouve quelquefois en cristaux très-petits, très-habituellement en masses considérables imparfaitement cristallisées.

Obtenu par *double décomposition*, il se présente en poudre blanche extrêmement fine, dans laquelle on ne distingue de grains cristallins qu'avec un très-fort grossissement. La *précipitation* donne un produit plus cristallin. Le microscope y montre des grains transparents, souvent groupés irrégulièrement et agissant sur la lumière polarisée, mais dont il n'est pas facile de reconnaître la forme.

Il est inaltérable à une chaleur modérée, mais facilement soluble dans les acides.

	I.	II.	III.	Compos. calc.
Oxyde de zinc.....	0,639	0,636	0,635	0,648
Ac. carboniq. (par diff.)	0,361	0,364	0,365	0,352
	1,000	1,000	1,000	1,000

I, II, III. Produits préparés dans les mêmes circonstances que les produits correspondants du manganèse.

Malachite.

La nature nous offre le carbonate anhydre de cuivre Cu^2O^2, CO^2, ou mysorine, l'hydratocarbonate bleu auquel on attribue la composition $2CuO, CO^2 + CuO, H^2O$, et l'hydratocarbonate vert $CuO, CO^2 + CuO, H^2O$ ou malachite. La formation de la mysorine et de l'hydratocarbonate bleu paraissent exiger des conditions particulières de température que je n'ai pas encore su réaliser.

Lorsqu'on *précipite*, soit par le carbonate neutre de soude, soit par le bicarbonate, un sel soluble de cuivre, sulfate ou chlorure, à des températures comprises entre 15o et

rés, et lorsqu'on produit dans les mêmes condi-
louble décomposition du carbonate de chaux et du
de cuivre, on n'obtient que la malachite.

	I.	II.	Composit. calculée.
cuivre.....	0,717	0,718	0,7190
ɔonique... ...0,192		0,195	0,1997
.....	0,077	0,080	0,0813
	0,986	0,993	1,0000

duit obtenu par la *précipitation*, à 160 degrés, du
de cuivre par une dissolution de bicarbonate de
saturée d'acide.
oduit obtenu par la *double décomposition*, à
és, du chlorure de cuivre et du carbonate de chaux.
érature a été soutenue dix-huit heures.
ible décomposition met en liberté beaucoup d'acide
ue qui brise les tubes si l'on opère sur une trop
uantité de matière.

SULFATES.

ériences sur la solubilité du sulfate de baryte.

yte sulfatée, cristallisée, est la gangue dominante
oup de filons concrétionnés; son insolubilité n'est
ient pas absolue, et l'immense quantité de liquide
rculé pendant des siècles dans ces canaux souter-
ffirait pour expliquer la formation des cristaux. Il
néanmoins, quelque intérêt à examiner si certains
es ne favoriseraient pas la dissolution, et, par
cristallisation du sulfate de baryte.
nfermé dans plusieurs tubes un même poids de sul-
baryte récemment précipité, avec un même poids
stillée pure, ou chargée de diverses quantités de
iate de soude, de sulfure de sodium et d'acide
lrique. Je les ai ensuite exposés côte à côte à une
ture d'environ 250 degrés, soutenue pendant

soixante heures. Le sulfate de baryte s'est dissous en quantité notable dans les dissolutions de bicarbonate de soude et s'est ensuite déposé, sur les parois des tubes, en petits cristaux transparents, facilement reconnaissables au microscope pour des prismes rhomboïdaux droits, agissant régulièrement sur la lumière polarisée, puisque deux lignes neutres sont dirigées suivant les deux diagonales du rhombe.

Ces prismes sont appliqués sur le verre par leur base et ne portent aucune modification. On sait que cette forme primitive est propre à la baryte sulfatée de certains gisements, où elle accompagne aussi des carbonates.

Les cristaux formés dans les dissolutions chlorhydrique sont plus volumineux et aussi un peu plus compliqués. Beaucoup d'entre eux portent les trois faces primitives et la face h^1 qui tronque tangentiellement l'arête verticale obtuse; d'autres montrent, en outre, les troncatures a^2 qui reposent symétriquement sur les angles obtus de la base; sur d'autres enfin, les faces h^1 et a^2 sont accompagnées des faces e^1 qui reposent symétriquement sur les angles aigus de la même base.

Je n'ai pas observé de dissolution sensible du sulfate de baryte dans l'eau pure ou dans les sulfures alcalins.

FLUORURES.

Expériences sur la solubilité du fluorure de calcium.

La chaux fluatée se rencontre dans plusieurs classes différentes de gîtes métallifères; on la trouve en beaux cristaux dans beaucoup de filons concrétionnés.

Du fluorure de calcium, récemment précipité et gélatineux, a été enfermé dans un tube de verre avec une dissolution de bicarbonate alcalin et une ampoule renfermant une quantité d'acide chlorhydrique insuffisante pour décomposer tout le carbonate. Le tube a été chauffé à 250 degrés environ pendant soixante heures. Le fluorure de calcium, en présence de cette dissolution sursatur

l'acide carbonique, s'était transformé en un sable blanc qui paraît, sous le microscope, composé de petits cubo-octaèdres transparents, mais sans aucune action sur la lumière polarisée.

SULFURES.

Les sulfures métalliques, cristallisés ou concrétionnés, se rencontrent très-communément dans les filons. Plusieurs d'entre eux se préparent facilement par voie humide, mais il en est un plus grand nombre qu'on n'a pas encore obtenus de cette manière; il sera d'abord question de ces derniers.

Je les ai presque tous formés, par double décomposition, à une haute température, d'un sel métallique soluble et d'un sulfure alcalin plus ou moins sulfuré. J'enfermais une dissolution de ce dernier, dans un tube vide d'air, avec une ampoule contenant le sel métallique et une bulle de gaz. Lorsque la double décomposition précipitait du soufre en excès, il fondait en petits globules et se séparait facilement.

Tous les sulfures qu'on obtient ainsi, tous ceux qu'on prépare dans les laboratoires par les moyens ordinaires, sont amorphes; et, jusqu'ici, on ne leur connaît guère de dissolvant. Je dirai plus tard comment on peut leur faire prendre une structure cristalline.

Réalgar. $As^2 S^3$.

Le réalgar naturel paraît être quelquefois un produit sublimé des émanations volcaniques, mais on le trouve également en cristaux volumineux dans certains gîtes concrétionnés.

On fabrique le réalgar artificiel par voie sèche, et on l'obtient en masses amorphes rouges, quelquefois opaques, quelquefois vitreuses, contenant souvent un excès de soufre.

J'ai chauffé à 150 degrés environ, dans des tubes scellés à la lampe, du réalgar artificiel réduit en poudre avec une

dissolution de bicarbonate de soude; la dissolution du réalgar se fait complétement et dépose, sur les parois des tubes, des cristaux qui atteignent souvent $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre : il se forme ensuite un précipité jaune-orangé pulvérulent, qui paraît être un mélange de réalgar et d'orpiment, et qu'il est très-facile de séparer des cristaux par lévigation.

Ces cristaux ont le même éclat, la même couleur, la même transparence, la même action sur la lumière polarisée, que le réalgar naturel; presque tous reposent sur la base P du prisme rhomboïdal oblique, et sont généralement simples : on y distingue seulement les faces primitives M, quelquefois la face g^1, qui tronque tangentiellement les arêtes latérales. Un plus petit nombre repose sur les faces latérales M et montre alors des faces h^x et g^1 placées par couples sur les arêtes verticales antérieure et postérieure, et sur les arêtes latérales.

Ces cristaux ont la composition du réalgar.

		Composit. calculée.
Arsenic (par différence).....	0,695	0,701
Soufre.....	0,305	0,299
	1,000	1,000

L'orpiment ($As^2 S^3$), traité comme le réalgar, abandonne quelquefois des cristaux de réalgar très-nets et tout aussi volumineux que dans l'expérience précédente. Cette réaction paraît dépendre d'une certaine température et du degré particulier de concentration de la solution alcaline; il se forme probablement, dans ce cas, du sulfo-arséniate.

Il suffira de rapprocher ces expériences sur le réalgar des expériences déjà citées sur l'arsenic métallique, pour voir quelle peut être l'influence de la température, de la proportion relative des réactifs et de leur concentration. Chacune de ces circonstances mériterait un examen particulier qui m'eût d'ailleurs entraîné trop loin de mon objet principal.

Antimoine sulfuré. $Sb^2 S^3$.

L'antimoine sulfuré naturel remplit à lui seul certains filons où il n'est guère associé qu'avec du quartz; il accompagne aussi accidentellement d'autres minéraux métalliques, et principalement des antimonio-sulfures.

On ne l'obtient artificiellement par voie humide qu'à l'état d'hydrate, et il est inutile de rappeler ici la manière dont il se comporte avec les alcalis et les carbonates alcalins. On va voir qu'avec certaines conditions de pression et de température ces réactions sont complétement interverties.

Le sulfure d'antimoine hydraté perd dans l'eau pure son eau de combinaison à 300 degrés environ, et prend une couleur grise et l'aspect métalloïde; mais quand on le produit ainsi, on ne l'obtient jamais parfaitement cristallisé.

J'ai chauffé à 250 degrés environ, dans des tubes de verre scellés à la lampe, du sulfure d'antimoine avec une dissolution de bicarbonate de soude. La dissolution était complète et de couleur verdâtre; elle a déposé sur les parois du tube une croûte cristalline grise, à l'éclat métallique, hérissée de longues aiguilles groupées sous forme de houppes, ou entrecroisées dans tous les sens.

Si l'on traite de la même manière le *soufre doré* $Sb^2 S^5$, on obtient un résultat semblable; mais du soufre pulvérulent se dépose en même temps que les cristaux métalloïdes, et il faut les en débarrasser par lévigation.

Ces cristaux ne sont autre chose que l'antimoine sulfuré $Sb^2 S^3$, de même forme que le sulfure naturel, avec la même couleur et le même éclat. On distingue très-nettement, sous le microscope, des prismes très-déliés, très-brillants, de plus de 1 millimètre de longueur, striés longitudinalement comme les cristaux naturels, et terminés comme eux par le pointement à quatre faces b^1 qui remplace la base rhombe; ils sont d'ailleurs associés absolument comme les cristaux

aciculaires qu'on voit dans toutes les collections, et cha[illegible] parcelle du produit artificiel convenablement grossie [illegible] une image parfaite des groupes naturels.

L'antimoine sulfuré artificiel a la composition corr[illegible] pondante à la formule $Sb^2 S^3$.

	I.	II.	Compos. calculé
Antimoine.....	0,731	0,711	0,729
Soufre (par différ.)..	0,269	0,289	0,271
	1,000	1,000	1,000

I. Produit obtenu au moyen du sulfure.

II. Produit obtenu au moyen du soufre doré.

L'analyse a été faite au moyen de l'hydrogène.

Antimoine oxysulfuré. $2\,Sb^2 S^3 + Sb^2 O^3$?

L'action du bicarbonate de soude sur le sulfure d'antimoine varie avec l'état de concentration des liqueurs et la proportion relative des matières réagissantes.

Lorsque la dissolution alcaline est en excès, trop concentrée, ou lorsqu'elle contient un peu de carbonate neutre, la dissolution du sulfure d'antimoine est peu colorée, on obtient peu ou point de sulfure en cristaux, et il se produit presque immédiatement un dépôt pulvérulent, dense et d'un rouge brique, qui cesse d'ailleurs très-vite de se former, avant même que la température soit descendue à 120 ou 140 degrés.

Ce dépôt ne ressemble en rien au *kermès* floconneux et brun des pharmacies, mais paraît identique à la variété d'oxysulfure naturel qui saupoudre souvent d'un enduit rouge pulvérulent les cristaux d'antimoine sulfuré.

Le précipité rouge artificiel ne se montre pas cristallin sous le microscope, et il s'est formé si brusquement, qu'il aurait difficilement pu prendre une structure régulière. S'il a été desséché à 25 ou 30 degrés, il n'abandonne pas

d'eau, même lorsqu'on le fond ; et lorsqu'il a été bien lavé, il ne contient pas d'alcali. Mais il cède de l'oxyde d'antimoine à l'acide chlorhydrique faible ou au tartrate acide de potasse.

Il a paru inutile de faire l'analyse quantitative de cette matière, qu'on n'obtient jamais complétement pure ; le microscope fait voir qu'elle est mélangée d'un peu de soufre pulvérulent et de petites aiguilles cristallines d'antimoine sulfuré dont il est impossible de la débarrasser complétement. Le produit naturel pulvérulent ne se montre guère plus homogène.

Bismuth sulfuré. Bi^2S^3.

Du sulfure de bismuth obtenu par voie humide et mis en digestion dans une dissolution de bicarbonate de soude à 200 degrés environ, ne se dissout pas sensiblement ; il se dissout, au contraire, dans un sulfure alcalin et cristallise sur les parois des tubes en masse grise et spongieuse qui se montre sous la loupe composée de filaments feutrés, et hérissée de petits cristaux aciculaires. Ces derniers ont un éclat métallique assez vif, une couleur grise plus sombre que celle des cristaux d'antimoine sulfuré desquels ils se rapprochent d'ailleurs par les caractères de similitude qui suivent ordinairement l'isomorphisme. Ces cristaux, comme ceux d'antimoine sulfuré, sont fasciculés ou entre-croisés, cannelés longitudinalement, et plusieurs montrent le pointement à quatre faces b^1 qui remplace la base : ce pointement est moins distinct, parce que les aiguilles sont beaucoup plus fines.

		Composit. calculée.
Bismuth (par différ.)....	81,8	81,59
Soufre.....	18,2	18,41
	100,0	100,00

Pyrite. FeS^2.

Le persulfure de fer est très-répandu dans toutes les formations géologiques : on le trouve dans les filons, soit concrétionné, soit cristallisé, à l'état de pyrite jaune ou de pyrite blanche; on n'a jamais obtenu jusqu'ici par voie humide que des composés mal déterminés et très-altérables.

J'ai produit par double décomposition la pyrite de fer FeS^2 à l'état de poussière noire amorphe, s'appliquant quelquefois, en enduit métalloïde jaune, sur les parois des tubes de verre, inaltérable à l'air sec, inattaquable par l'acide chlorhydrique, facilement combustible. Du bisulfure de fer préparé ainsi depuis plus de deux années, et exposé à l'air, n'a éprouvé aucune modification, malgré son état de division moléculaire. Il est donc très-probable que ce produit correspond à la pyrite jaune. Le bisulfure de fer formé à la température ordinaire par la réaction lente des sulfates sur les matières organiques en décomposition, s'effleurit au contraire assez rapidement, et paraît être une pyrite blanche, peut-être aussi une combinaison en proportions variables.

	I.	II.	Compos. calculée.
Fer.....	0,454	0,458	0,467
Soufre.....	0,541	0,545	0,533
	0,995	1,003	1,000

I. Produit de la double décomposition, à 165 degrés, du sulfate du fer et du persulfure de potassium.

II. Produit de la double décomposition, à 180 degrés, du protochlorure de fer et du persulfure de potassium.

Lorsqu'on fait réagir de la même manière le protosulfure de sodium sur les sels de fer, on obtient un composé plus stable que le produit correspondant de la double décomposition ordinaire. Avec un mélange de protosulfure et de deutosulfure alcalin, on obtiendrait peut-être des degrés de sulfuration intermédiaires; mais, comme tous ces préci-

pités amorphes peuvent être des mélanges, et que les pyrites magnétiques naturelles ne forment pas elles-mêmes des espèces parfaitement définies chimiquement, il n'y avait pas un grand intérêt à pousser plus loin ces expériences.

Manganèse sulfuré. Mn S.

Le manganèse sulfuré est un minéral rare, toujours associé à du carbonate; on ne le trouve jamais en cristaux, rarement même en masses cristallines. On l'obtient toujours, par voie humide, à l'état d'hydrate.

Je l'ai produit, par double décomposition, sous forme d'une poussière d'un noir verdâtre amorphe, s'appliquant quelquefois, comme un enduit d'un gris d'acier, sur les parois du verre. Un peu altérable à l'air humide, il paraît inaltérable à l'air sec. On prépare ce sulfure avec un protosulfure alcalin. Si ce dernier contient un excès de soufre, le produit est souillé de bisulfure de manganèse; s'il contenait un excès d'alcali, le produit serait souillé d'oxyde. Un persulfure alcalin mélangé d'un excès de carbonate alcalin ne donne que du protosulfure de manganèse mélangé lui-même de carbonate, comme le minéral naturel.

		Compos. calculée.
Manganèse	0,625	0,633
Soufre (par différ.).	0,375	0,367
	1,000	1,000

Le produit avait été obtenu à 185 degrés.

Hauérite. MnS^2.

On a trouvé dans la nature le bisulfure de manganèse, MnS^2, en cristaux octaèdres dont les fragments minces sont rouges et transparents et la poussière rouge; on lui a donné le nom de *hauérite*. Ce deutosulfure n'a jamais été reproduit artificiellement.

Je l'ai obtenu en poussière rouge-brique amorphe, s'ap-

pliquant quelquefois, comme un enduit transparent rouge, sur les parois des tubes en verre; à peine altérable à l'air lorsqu'il est mouillé, inaltérable lorsqu'il est sec. Il s'obtient comme le précédent, mais avec un persulfure alcalin.

	I.	II.	Compos. calculée.
Manganèse.....	0,462	0,460	0,468
Soufre.....	0,533	0,535	0,532
	0,995	0,995	1,000

I. Produit obtenu à 160 degrés.

II. Produit obtenu à 180 degrés.

Cobalt sulfuré. $Co^3 S^4$.

On trouve dans la nature le sulfure de cobalt cristallisé; je l'ai obtenu en poussière amorphe d'un gris noir, inaltérable à l'air sec.

		Compos. calculée.
Cobalt (par différ.).....	0,573	0,58
Soufre.....	0,427	0,42
	1,000	1,00

Produit à 160 degrés par le chlorure de cobalt et le persulfure de potassium.

Nickel sulfuré.

Protosulfure. Ni S. — On trouve dans la nature le protosulfure de nickel en filaments cristallisés. Je l'ai obtenu à l'état de poussière d'un gris noir, amorphe, inaltérable à l'air sec, s'appliquant sur les parois du tube en enduit jaune métalloïde. On le produit ainsi, soit par double décomposition du chlorure de nickel et du protosulfure de potassium, soit par double décomposition du chlorure de nickel et du polysulfure de potassium, mais en présence d'un grand excès de bicarbonate alcalin.

	I.	II.	Compos. calculée.
Nickel (par différ.)..	0,637	0,641	0,649
Soufre.....	0,360	0,359	0,351
	0,997	1,000	1,000

I. Produit obtenu à 160 degrés, au moyen du protosulfure de potassium.

II. Produit obtenu à 180 degrés, au moyen du polysulfure de potassium et d'un grand excès de bicarbonate de soude.

Sulfure. Ni^3S^4. — Ce sulfure n'a pas été trouvé isolé dans la nature; il paraît être quelquefois en union isomorphique avec celui de cobalt. Mêmes caractères que le précédent; forme également sur le verre un enduit jaunâtre métalloïde.

		Compos. calculée.
Nickel (par différ.).....	0,583	0,581
Soufre	0,417	0,419
	1,000	1,000

Produit obtenu, à 160 degrés, avec le chlorure de nickel et le persulfure de potassium.

Ce sulfure, comme celui de cobalt, paraît correspondre à la pyrite magnétique.

Blende. Zn S.

La blende se trouve dans la nature très-bien cristallisée et concrétionnée. On n'obtient, par voie humide, le sulfure de zinc qu'à l'état d'hydrate; j'ai produit le sulfure anhydre sous forme d'une poussière blanche, amorphe, inaltérable à l'air sec. Ce sulfure a la composition de la blende, quel que soit l'état de sulfuration du sulfure alcalin.

		Composit. calculée.
Zinc.	0,662	0,670
Soufre.....	0,343	0,330
	1,005	1,000

Produit préparé à 175 degrés.

Cuivre sulfuré. Cu^2 S.

Le sulfure de cuivre se trouve dans la nature quelquefois cristallisé, plus ordinairement en masses amorphes. Quand

on précipite par l'hydrogène sulfuré ou par des sulfures alcalins les sels de cuivre correspondants à l'oxyde CuO, on obtient le sulfure correspondant, ou même des degrés de sulfuration supérieurs. Mais, si cette précipitation se fait en présence d'un excès de bicarbonate alcalin, à 200 degrés environ de température, on produit le sulfure Cu^2S. C'est une poussière noire et amorphe, inaltérable à l'air, inattaquable par l'acide chlorhydrique.

			Compos. calculée.
Cuivre.....	0,780	0,782	7881
Soufre.....	0,213	0,210	2119
	0,993	0,992	1,0000

Produits à 200 degrés environ.

Pyrite cuivreuse. Cu^2S, Fe^2S^3.

La pyrite cuivreuse se trouve cristallisée, mais bien plus habituellement en masses amorphes; des nodules de ce genre se rencontrent très-fréquemment au milieu du fer carbonaté.

Si l'on met en présence, à 250 degrés environ : 1° un mélange de protochlorure de fer et de chlorure de cuivre à peu près dans les proportions convenables; 2° une dissolution de persulfure de sodium en quantité insuffisante pour décomposer les chlorures; 3° un grand excès de bicarbonate de soude, on obtient un précipité noir mélangé de carbonates de fer et de cuivre qu'on peut enlever au moyen de l'acide chlorhydrique.

Il reste alors une poudre noire, amorphe, inaltérable à l'air, insoluble dans l'acide chlorhydrique, et qui souvent s'applique sur les parois des tubes comme un enduit métalloïde d'un jaune foncé. Cette pellicule, exposée à l'air, s'irise très-rapidement.

Tant que le sulfure alcalin est en quantité insuffisante pour décomposer la totalité des sels de fer et de cuivre, le précipité noir présente la composition de la pyrite cui-

vreuse, même quand la proportion relative de ces sels varie dans des limites assez étendues.

	I.	II.	III.	Compos. calculée.
Cuivre..	33,9	34,0	34,2	34,5
Fer....	31,0	30,8	30,6	30,5
Soufre..	34,2	35,0	35,5	34,9
	99,1	99,8	100,3	99,9

I, II, III. Produits obtenus à 250 degrés environ de température, mais avec des proportions relatives différentes de chlorure de fer et de chlorure de cuivre.

Tous les sulfures, ceux des laboratoires et ceux qui résultent ainsi d'une double décomposition brusque, sont amorphes. Ils ne prennent même la couleur métalloïde qui leur est propre qu'en s'appliquant sur les parois des tubes de verre. On les trouve cependant cristallisés dans la nature; il faut donc qu'ils se soient formés très-lentement et qu'ils aient subi l'action d'un dissolvant.

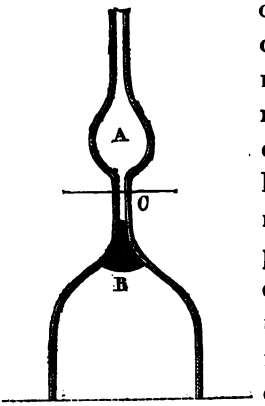
L'acide sulfhydrique paraît être ce dissolvant dans certaines conditions de température et de pression. Je suis, en effet, parvenu à en faire cristalliser quelques-uns au moyen de ce gaz; mais l'expérience présente des difficultés, et l'on ne peut opérer que sur de très-petites quantités de matière.

L'acide sulfhydrique, en effet, n'est pas très-soluble dans l'eau et surtout n'a par lui-même qu'un pouvoir dissolvant très-faible. Cette faculté paraît, il est vrai, s'accroître notablement avec la température; mais alors il faut une grande augmentation de pression pour retenir le gaz uni au liquide.

Je me suis procuré des dissolutions sulfhydriques de deux manières différentes.

On ne pouvait sceller à la lampe un tube de verre contenant une dissolution de gaz chargée sous une pression de 4 à 6 atmosphères sans certaines précautions.

Avant donc de saturer le liquide, et après l'avoir intro-



duit dans le tube avec quelques parcelles de sulfure, j'étirais ce tube en ménageant, entre deux étranglements consécutifs, un renflement A où se trouvait logée librement une boule de cire ou de mastic. La saturation s'obtenait au moyen d'une petite pompe foulante; puis on fondait le mastic, et, d'un coup de piston, on poussait cette matière liquéfiée jusqu'à la partie B évasée en entonnoir vers l'intérieur du tube Une fois solidifiée, elle bouche l'orifice hermétiquement et ne saurait être expulsée au dehors par la pression intérieure, à cause de sa forme conique. On peut donc, sans difficulté, fermer en C, au chalumeau, la partie effilée. Cette manœuvre est, d'ailleurs, longue et pénible, parce que la saturation se fait mal, même en agitant continuellement le liquide.

Lorsque la présence du soufre en excès n'a pas d'influence nuisible, il est plus simple d'avoir recours à la méthode suivante :

Dans un tube de verre épais et étroit, presque plein d'eau bouillie froide, j'introduisais quelques parcelles de sulfure métallique et du bisulfure d'hydrogène; le tube vidé d'air était ensuite scellé. La décomposition du bisulfure ne tarde pas à donner une dissolution plus ou moins chargée d'acide sulfhydrique en même temps qu'un dépôt de soufre.

Les tubes chargés par l'une ou l'autre méthode sont exposés à la chaleur, et le sulfure dissous, au moins partiellement, se retrouvait avec un aspect plus ou moins cristallin.

J'ai réussi à faire cristalliser ainsi la blende et la galène qui paraissent assez solubles; la pyrite de fer et la pyrite cuivreuse se montrent plus rebelles : on les obtient pourtant

en poudre grenue et avec leur couleur métalloïde. Les résultats n'étaient pas bien concluants avec les sulfures d'argent et de cuivre. Je n'ai pas, il est vrai, poussé bien loin ces expériences très-rebutantes, et les premières tentatives m'ont paru prouver suffisamment le pouvoir dissolvant de l'acide sulfhydrique.

La chaleur semble dégager avec force ce gaz de sa dissolution; car on est exposé à de violentes explosions: il différerait donc de l'acide carbonique, et parce qu'il dissout moins facilement les sulfures que ce dernier les carbonates, et parce qu'il serait moins soluble dans l'eau quand la température s'élève, de sorte qu'à chaleur égale, ses dissolutions prendraient des tensions plus fortes.

Cette double différence expliquerait assez bien la concentration des sulfures en profondeur dans tous les gîtes métallifères et l'accumulation des carbonates vers leur partie supérieure, puisque la faculté dissolvante des eaux chaudes saturées des deux gaz diminuant inégalement sous une pression hydrostatique décroissante, les matières dissoutes devraient se précipiter successivement, les sulfures avant les carbonates.

ARSÉNIO-SULFURES ET ANTIMONIO-SULFURES.

Les sulfures d'arsenic, d'antimoine, de bismuth, forment avec divers sulfures métalliques des combinaisons variées, et beaucoup de filons en sont remplis. Les travaux de M. Berzelius sur les sulfosels ont jeté un grand jour sur la nature même de cette classe de composés; mais ceux qu'il a obtenus ne se sont pas jusqu'ici rencontrés dans la nature, et ceux qu'elle nous offre n'ont jamais été reproduits artificiellement: ils ont donc dû prendre naissance dans des conditions toutes spéciales.

Mispikel. $FeAs^2 + FeS^2$.

Le mispikel est très-commun dans certains gîtes métallifères qui n'appartiennent probablement pas à la classe des filons concrétionnés. On le rencontre pourtant dans ces derniers, associé, par exemple, à du fer carbonaté ou à de la dolomie. Le mispikel est quelquefois cristallisé, plus habituellement en masses amorphes, à cassure grenue. On peut le reproduire artificiellement de la manière suivante:

En précipitant un sel de fer par du sulfo-arsénite de soude en présence d'un grand excès de bicarbonate de soude, à des températures comprises entre 300 et 350 degrés, ou en faisant réagir dans les mêmes circonstances un grand excès de bicarbonate sur du sulfo-arsénite de fer tout formé, on obtient un produit d'un gris noir, que l'on peut laver avec de l'acide chlorhydrique, puis avec de l'ammoniaque; il se présente alors comme une poudre d'un gris de fer lorsqu'elle est sèche, grenue, sans formes cristallines distinctes, inattaquable par l'acide chlorhydrique même concentré, laissant volatiliser un peu de sulfure d'arsenic quand on la chauffe dans un tube de verre fermé, et donnant au chalumeau toutes les réactions du mispikel naturel dont elle a la composition.

Il m'est d'ailleurs arrivé deux fois d'obtenir, accidentellement, de petits cristaux. Le verre est fortement attaqué dans cette expérience, et l'arséniosulfure a cristallisé, dans le réseau de silice, sous les écailles détachées. Plusieurs cristaux ne montrent que les deux faces d'un biseau (e^4?) qui fait disparaître la base du prisme rhomboïdal, en tronquant les angles aigus de cette base. D'autres sont très-allongés, et l'on y distingue les faces verticales M du prisme, en même temps que les deux plans du biseau e^4 qui le termine. Cette forme est très-habituelle au mispikel, et ces cristaux ont, comme le produit naturel, la couleur et l'éclat de l'acier.

		II	III.	IV.	Comp. calc.
Fer.....	35,2	34,8	34,1	333	34,36
Arsenic...	44,1	43,8	45,4	452	46,00
Soufre....	19,2	20,3	20,7	203	19,63
	98,5	98,9	100,2	988	99,99

I et II. Produits obtenus par précipitation des sels de fer par le sulfo-arsénite de soude, en présence d'un excès variable de bicarbonate.

III et IV. Produits obtenus par la réaction d'un excès variable de bicarbonate de soude sur le sulfo-arsénite de fer précipité à la température ordinaire.

Argent rouge.

On trouve dans la nature les deux composés isomorphes Ag^6S^3, As^2S^3; Ag^6S^3, Sb^2S^3, connus l'un et l'autre sous le nom d'*argent rouge*. Ils peuvent probablement s'unir en toute proportion; le second se rencontre cependant exempt de tout mélange. Tous deux sont en masse ou cristallisés, souvent transparents, avec une couleur rouge plus ou moins foncée, ordinairement plus claire pour l'argent rouge arsenical; la poussière est encore plus pâle. Les cristaux présentent en outre un éclat adamantin, presque métallique, tout à fait caractéristique. On n'avait jamais reproduit artificiellement ces sulfosels, ni cristallisés, ni même amorphes.

Argent rouge arsenical. Ag^6S^3, As^2S^3.

J'ai obtenu l'argent rouge arsenical en décomposant, à des températures comprises entre 250 et 350 degrés, un sel d'argent par un sulfo-arsénite alcalin en dissolution dans un excès de bicarbonate de soude; ou plus simplement, en faisant réagir, aux mêmes températures, une dissolution de bicarbonate de soude sur le sulfo-arsénite d'argent obtenu préalablement, par double décomposition, à la température ordinaire. L'élément électronégatif en excès entre en combinaison avec l'alcali, et l'on obtient ainsi un sable rou-

geâtre, très-fin et brillant. La présence d'un petit ex de sulfo-arsénite de soude paraît favoriser la tendance à l tat cristallin.

Ce sable se sépare facilement, par lévigation, du souf du sulfure d'arsenic dont il pourrait être souillé accident lement, et aussi d'une matière brune, floconneuse, am phe, qui contient de l'argent, du soufre et de l'arsen mais que je n'ai pas analysée.

Le résidu ainsi purifié se compose uniquement de c taux transparents, agissant sur la lumière polarisée, roug et qui donnent sous le pilon une poussière rouge clair; se comportent au chalumeau comme le produit naturel. possèdent le même éclat qui devient surtout très-frapp lorsqu'on éclaire le porte-objet du microscope, comme p l'examen des corps opaques.

Les cristaux isolés sont très-nets, mais leur forme pa assez complexe; plusieurs faces sont partiellement stri Ceux qui se sont développés au milieu du réseau siliceux s les écailles détachées du verre paraissent affecter la fo de scalénoèdres d^2 striés parallèlement aux arêtes latér de l'hexagone en zigzag. L'argent rouge naturel mo très-communément cette forme et ces stries caractéristiq et l'on va voir bientôt que les cristaux d'argent rouge a monial ont les mêmes formes, plus faciles à définir, p qu'ils sont plus volumineux.

L'argent rouge arsenical artificiel a exactement la m composition que le produit naturel.

	I.	II.	Compos. calculé
Argent.	65,52	64,80	6545
Arsenic.	14,27	15,00	1515
Soufre	19,30	19,50	1939
	99,09	99,30	9999

I. Produit obtenu par double décomposition du sul

d'argent et du sulfo-arsénite de soude, en présence d'un excès de bicarbonate de soude à 275 degrés.

II. Produit obtenu en faisant réagir, à 325 degrés, une dissolution de bicarbonate de soude sur du sulfo-arsénite d'argent.

Argent rouge antimonial. $Ag^6 S^3$, $Sb^2 S^3$.

J'ai préparé l'argent rouge antimonial comme l'argent rouge arsenical, mais indifféremment avec un sulfo-antimonite ou un sulfo-antimoniate, puisqu'on a vu précédemment que le sulfo-antimoniate peut être lui-même désulfuré par un excès de bicarbonate de soude. Obtenu ainsi, l'argent rouge antimonial est à l'état de sable presque noir, à gros grains, très-éclatant. La présence d'un petit excès de sulfosel de soude paraît favoriser sa tendance à l'état cristallin, bien plus prononcée d'ailleurs que celle de l'argent rouge arsenical.

On purifie de même ce sable, par lévigation, du soufre, du sulfure d'antimoine et du précipité floconneux amorphe dont il peut être mélangé. Ce dernier est moins abondant que dans la préparation de l'argent rouge arsenical. Il faut enfin trier à la loupe quelques aiguilles d'antimoine sulfuré cristallisé, trop lourdes pour être entraînées par le lavage.

Le résidu se compose de cristaux éclatants, très-distincts avec une forte loupe, transparents, agissant sur la lumière polarisée, de couleur rouge, et qui donnent, sous le pilon, une poussière rouge de nuance plus claire; ils se comportent au chalumeau comme le produit naturel, et possèdent le même éclat caractéristique. La forme des cristaux isolés est généralement assez complexe. Quelques-uns montrent le rhomboèdre primitif sans aucune modification : ce rhomboèdre domine encore dans d'autres, qui portent en même temps sur leurs arêtes culminantes les troncatures b^1 de l'équiaxe, et sur leurs faces quelques stries parallèles aux arêtes latérales de l'hexagone en zigzag. Enfin le plus grand nombre

affecte la forme du scalénoèdre d^2, dont les faces sont for
ment striées parallèlement aux arêtes du même hexago
et les sommets fortement tronqués par l'équiaxe.

Les cristaux qui se sont développés sous les écailles dé
chées du verre, dans le réseau siliceux, ont une forme p
simple; ce sont généralement des scalénoèdres compl
striés sur leurs faces parallèlement aux arêtes latérales
l'hexagone en zigzag. Toutes ces formes sont très-habitue
à l'argent rouge naturel, et les stries elles-mêmes sont
core un caractère de plus de ressemblance. Comme les as
rités d'une paroi rugueuse pouvaient être favorables à
cristallisation, et que l'argent rouge naturel est souv
adhérent à une gangue de chaux carbonatée, j'ai introdu
dans les tubes de verre de petits fragments de marbre bl
saccharoïde, qui se sont recouverts, en effet, de quelq
cristaux d'argent rouge; ceux-ci ne présentaient d'aille
rien de particulier, ni dans leur forme ni dans leur volu

On remarquera que les cristaux d'argent rouge antim
nial se développent bien plus facilement que les crista
d'argent rouge arsenical; aussi paraissent-ils beaucoup pl
communs dans les filons.

	I.	II.	Compos. calcul
Argent.....	58,85	59,00	5901
Antimoine.....	24,00	23,20	2350
Soufre.....	17,90	17,20	1748
	100,75	99,40	9999

I. Produit obtenu par double décomposition du sulf
d'argent et du sulfo-antimonite de soude, en présence d'
excès de bicarbonate de soude à 275 degrés.

II. Produit obtenu en faisant agir, à 325 degrés, une d
solution de bicarbonate de soude sur du sulfo-antimoni
d'argent.

L'analyse a été faite par le chlore sec.

Conclusions.

'étais proposé d'établir, sur des preuves expérimen-
'opinion controversée et, selon moi, très-probable,
ribue le remplissage des filons concrétionnés à des
ns thermales incrustantes, et de montrer que la for-
d'un grand nombre de minéraux qu'on y rencontre
sés ou amorphes, ne suppose pas toujours des condi-
ı des agents très-éloignés des *causes actuelles*.

ient de voir, en effet, que les deux éléments princi-
s sources thermales les plus répandues, que des sul-
les carbonates alcalins, m'ont suffi pour reproduire
euf espèces minérales distinctes, presque toutes cris-
, appartenant aux *métaux natifs*, aux *oxydes*, aux
ates, aux *sulfates*, aux *fluorures*, aux *sulfures*, aux
séniures, aux *sulfo-antimoniures*, en un mot, à
es grandes familles de composés chimiques propres
ments concrétionnés, et qui ont chacune quelques
ıtants dans mes expériences.

ıoyens de synthèse aussi simples, applicables cepen-
des composés aussi divers, donnent certainement
ez grande vraisemblance aux conceptions spécula-
ıi m'ont dirigé dans ces recherches. Il faudra d'ail-
s varier bien davantage, et, lorsqu'on aura étudié de
es divers agents chimiques et les influences de toute
qui peuvent en modifier les effets, on parviendra
ute à définir les conditions probables de formation
lières à chaque classe de gîtes métallifères. On doit
spérer qu'en remontant ainsi de proche en proche
ı même ordre d'expériences systématiques, on arri-
fin aux roches cristallisées qui se rattachent à ces
ır des passages et des phénomènes de continuité
t impossible de méconnaître.

NOTE RELATIVE AUX EFFETS ÉLECTROCHIMIQUES PRODUITS SOUS L'INFLUENCE DE LA LUMIÈRE;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

Lue à l'Académie des Sciences, dans la séance du 20 janvier 1851.

L'étude de l'action chimique de la lumière m'a permis il y a plusieurs années, de rendre sensibles les effets élec triques produits lors des réactions chimiques qui s'opèrent sous l'influence de la lumière. Pour observer un dégage ment d'électricité, il est nécessaire de placer les substance impressionnables à la surface de lames métalliques conve nablement disposées, et en relation avec un multiplicateu suffisamment sensible (*Comptes rendus de l'Académie de Sciences,* tome IX, page 561).

Ces effets ont donné lieu à la construction d'un appare capable d'apprécier l'énergie avec laquelle les rayons d diverse réfrangibilité agissent sur certaines combinaison et de donner des indications sur les phénomènes qui se pr duisent quand les faisceaux de rayons actifs traversent d écrans de diverse nature et différemment colorés (*Compt rendus,* tome XIII, page 198; *Annales de Chimie et d Physique,* tome IX, page 257).

D'un autre côté, ayant été conduit à la préparation d'un couche chimiquement impressionnable, possédant la pr priété remarquable de recevoir les impressions colorées d toutes les parties du rayonnement lumineux, impressio colorées dont la teinte est semblable à celle des rayons lu mineux actifs; et, en outre, cette substance sensible pou vant être mise dans des conditions telles qu'elle n'est affect qu'entre les limites de réfrangibilité des rayons perceptibl à l'organe de la vision, j'ai pensé à me servir de ce compo pour étudier de nouveau les effets électriques que le rayo

nement fait naître, dans l'espoir de pouvoir construire un appareil qui permît d'apprécier l'intensité des rayons actifs.

Tel est le but du travail que je soumets aujourd'hui au jugement de l'Académie.

§ I. — *Effets électriques dus à l'action des rayons sur la matière sensible. Actinomètre.*

Pour rendre manifeste le dégagement de l'électricité lors de l'action photogénique, il est nécessaire de faire usage de lames d'argent recouvertes de la couche impressionnable et plongées dans un liquide conducteur de l'électricité, mais n'attaquant pas cette matière; on peut employer comme liquide l'eau acidulée par l'acide sulfurique, ou une dissolution étendue de sulfate de potasse.

L'expérience m'a convaincu qu'il faut se servir de lames d'argent le plus pur possible, car, sans cela, la couche impressionnable peut s'altérer dans l'eau acidulée et même dans l'eau ordinaire. J'ai préparé alors des lames avec de l'argent obtenu par la réduction du chlorure, et ne contenant pas de traces de cuivre; elles ont 5 centimètres de hauteur, 3 de largeur, et $\frac{1}{4}$ de millimètre d'épaisseur tout au plus. Elles sont soudées chacune à une petite tige d'argent pur, de manière que cette tige soit dans le plan de chaque lame, et au milieu d'un des petits côtés du rectangle qu'elles forment. Ces tiges servent à établir la communication électrique entre les lames et les extrémités d'un galvanomètre à fil long très-sensible.

Les deux lames plongent dans une petite cuve à eau de 6 centimètres de hauteur, sur 6 de largeur et 5 d'épaisseur; deux montants en cuivre les maintiennent suspendues au milieu de cette cuve. On les dispose de façon qu'elles soient parallèles à la face antérieure de la cuve à eau, de sorte que si les trois autres faces sont noircies, et que la lumière arrive seulement par la face antérieure, une seule lame est exposée à l'action du rayonnement lumineux.

Les deux montants en cuivre, qui servent de supports

aux lames, sont isolés ou du moins reposent sur un soc en bois isolant, de sorte qu'en attachant les extrémités du fil du multiplicateur aux montants, le circuit électrique se trouve comprendre les deux lames, le liquide de la cuve à eau et le galvanomètre.

Voici les conditions qui ont paru le plus convenables pour obtenir les meilleurs effets :

1°. Plus le galvanomètre est sensible, mieux les effets sont manifestes. Un instrument, tel que les construit M. Rhumkorf, ayant un fil de 3000 tours, peut parfaitement servir. Cependant un fil plus long donnerait de meilleurs résultats. Les expériences ont été faites avec un multiplicateur de 3000 tours.

2°. Le liquide doit être bon conducteur, et ne pas attaquer la couche impressionnable. Un mélange de 2 grammes d'acide sulfurique pur à 66 degrés et de 100 grammes d'eau, a donné les meilleurs résultats.

3°. Les lames d'argent doivent être sans alliage, comme nous l'avons déjà dit, et, de plus, elles doivent recevoir chacune la même préparation. Il est nécessaire, en effet, que ces lames ne soient pas polarisées, et qu'ainsi elles soient aussi identiques que possible. Malgré ces précautions, on n'évite pas une polarisation primitive qui fait que, lorsqu'après avoir monté l'appareil dans l'obscurité on ferme pour la première fois le circuit, l'aiguille est déviée fortement dans un sens ou dans un autre. On doit alors attendre pendant six, douze, vingt-quatre et même quelquefois quarante-huit heures, que l'aiguille ait repris sa première position d'équilibre avant de commencer les opérations.

Afin d'éviter les pertes de temps, on a plusieurs paires de lames préparées, comme il sera dit ci-après, que l'on conserve dans l'eau acidulée, en contact l'une avec l'autre; le courant initial s'anéantit peu à peu, et ensuite on s'en sert pour les expériences dont il sera question plus loin.

4°. La préparation uniforme des lames est le point essen-

tiel. On sait que les deux procédés auxquels nous nous sommes arrêtés sont l'immersion dans une solution étendue de bichlorure de cuivre et l'action d'un courant électrique, la lame d'argent à recouvrir servant d'électrode positif dans une solution d'acide chlorhydrique étendue (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 451; et t. XXV, p. 447).

Le premier procédé donne une couche qui reçoit plus vivement les impressions photochromatiques; le second donne des couleurs plus brillantes. J'ai fait successivement usage de ces deux modes de préparation et j'ai abandonné le premier, à l'exclusion du second, par le motif que les effets électriques, sans être plus énergiques, sont de beaucoup moindre durée, comme nous l'expliquerons bientôt. On doit donc, pour la préparation, employer le courant provenant d'un couple de Bunsen, de grandeur ordinaire, et attacher successivement la tige de chaque lame au fil conducteur positif; les lames sont plongées dans une solution formée par un mélange d'eau et de $\frac{1}{8}$ ou $\frac{1}{10}$ en volume d'acide chlorhydrique ordinaire. Les lames doivent être polies et parfaitement décapées sur les deux faces, comme si l'on voulait obtenir une épreuve daguerrienne. Lorsque l'on a plongé dans le liquide une tige de platine en communication avec le pôle négatif du couple, le circuit se trouve fermé, et, comme je l'ai décrit dans les Mémoires déjà cités, la lame d'argent noircit en prenant des teintes foncées correspondantes aux teintes des lames minces. On s'arrête au violet du quatrième ordre, et on lave à grande eau. Pour avoir une teinte homogène, on doit placer la tige négative de platine assez loin de la lame, et tourner sans cesse la lame d'argent en la tenant à la main par la tige.

Quand on juge que les deux lames ont reçu à peu près la même préparation, on les soumet à l'action de la chaleur, comme cela est expliqué dans le Mémoire déjà cité, et afin qu'elles soient modifiées physiquement de façon à donner de bonnes impressions photochromatiques. On les recuit à

la température de 150 à 200 degrés, jusqu'à ce qu'elles deviennent rosâtres, et alors on les attache aux deux montants en cuivre. Le recuit a aussi pour but de faire que les lames ne soient pas impressionnées en dehors des limites de réfrangibilité du rayonnement lumineux, comme cela aurait lieu sans cela.

Telles sont les précautions indispensables pour pouvoir obtenir de bons résultats par suite de l'action des rayons lumineux.

On voit que l'appareil, disposé de cette manière, est le même que celui que j'ai nommé *actinomètre électrochimique*, et dans lequel les lames recouvertes d'iodure et de bromure d'argent sont remplacées par les lames qui ont subi une autre préparation et qui sont recouvertes de chlorure dans un état particulier. Il est bon de placer en avant de la face antérieure de la cuve à eau, un écran muni d'une ouverture longitudinale, soit verticale, soit horizontale, et dont on peut régler la dimension à volonté à l'aide d'une vis micrométrique, afin de n'éclairer qu'une portion déterminée de la surface de la lame d'argent antérieure. On peut également, au moyen de verre noirci, empêcher que toute lumière, même réfléchie, ne parvienne à la seconde lame, qui doit toujours rester dans l'obscurité.

Quand tout est ainsi disposé, si l'aiguille du multiplicateur est revenue au zéro, ou en est très-proche, par suite de la destruction du courant initial que l'on observe presque toujours, on peut procéder aux expériences.

Dans ces conditions, lorsque l'appareil est dans une chambre obscure, et qu'on vient à faire tomber tout à coup les rayons solaires sur la surface entière de la lame antérieure (surface de 20 centimètres carrés), l'aiguille du multiplicateur est chassée violemment dans un sens que nous allons préciser. Si l'on intercepte la lumière, l'aiguille revient peu à peu au zéro. L'action est donc tellement vive, qu'il faut ne laisser impressionner qu'une très-petite portion

de la lame par les rayons solaires directs pour avoir seulement 20 ou 30 degrés de déviation de l'aiguille du galvanomètre.

La lumière d'une bougie, placée à 1 décimètre de la cuve à eau, suffit pour faire dévier l'aiguille aimantée du galvanomètre de 12 à 15 degrés.

La déviation, qui est constamment dans le même sens tant que les rayons lumineux frappent l'appareil, indique que la lame exposée au rayonnement prend l'électricité négative, et le liquide l'électricité positive. Si c'est l'autre lame qui est éclairée, le même effet se produit, mais l'aiguille dévie en sens inverse. Dans cette circonstance, le courant est inverse de celui qui a lieu lorsque les lames sont recouvertes d'iode ou de brome; dans ce dernier cas, les rayons solaires donnent lieu à une décomposition, et la lame d'argent prend l'électricité positive. On ne peut s'expliquer cette différence que par la modification profonde que le recuit a apportée à la matière, comme les impressions colorées l'avaient déjà indiqué. Ce qui vient le démontrer encore, c'est qu'ayant opéré avec des lames préparées à la pile et non recuites, on a eu un effet électrique inverse, la lame exposée à la lumière ayant donné l'électricité positive; mais, après les avoir fait recuire, les indications électriques ont changé de sens, et les lames éclairées ont pris l'électricité négative, comme si elles étaient attaquées par le liquide au moment de l'action de la lumière. Ces résultats, joints à la plus grande sensibilité de la matière, et à la destruction des effets qui se produiraient en dehors des rayons rouges et violets, ont fait adopter les plaques recuites dans toutes les expériences de ce genre.

Lorsque la lumière d'une bougie, la lumière diffuse, ou bien la lumière solaire, impressionne la lame, on a une déviation plus ou moins forte qui demeure constante tant que la lumière conserve la même intensité, et que la surface est suffisamment impressionnable. Si l'on vient à intercepter la lumière, l'aiguille aimantée du galvanomètre revient au zéro, le dépasse un peu en sens inverse, par suite probable-

ment d'un courant secondaire, mais reprend bientôt sa première position d'équilibre. Si la lumière a conservé son intensité primitive, et qu'on éclaire de nouveau la lame, alors l'effet électrique est le même que précédemment.

La déviation n'est constante, on le pense bien, que tant que la surface conserve la même impressionnabilité, et les résultats ne peuvent être comparables qu'autant que l'on remplit cette condition. Aussi est-il nécessaire de donner une épaisseur assez forte à la couche sensible.

J'ai reconnu, comme je l'ai déjà dit précédemment, que, lorsque la lame impressionnable est préparée par une immersion rapide dans le bichlorure de cuivre, puis recuite, elle blanchit rapidement sous l'influence des rayons solaires, ou des rayons émanés d'une lampe, et, au bout de quelques minutes, sous la même intensité lumineuse, donne un courant électrique beaucoup plus faible. Mais, quand elle est recouverte par la pile d'une couche épaisse impressionnable, et recuite dans les mêmes conditions, le courant est constant pendant un temps assez long. Je citerai, à cette occasion, l'expérience suivante :

Le 18 août 1850 on a placé, à 50 centimètres de distance de la lame antérieure de l'appareil, une forte lampe Carcel, dont la lumière, réfractée par une lentille, venait tomber sur la lame.

L'aiguille du galvanomètre, dans sa position d'équilibre, était à + 1 degré. Aussitôt que les rayons de la lampe tombèrent sur la lame, la déviation fut, par première impulsion, de + 16°,5, puis l'aiguille se fixa à + 14 degrés. En laissant continuer l'action, on eut, aux heures indiquées ci-après, les déviations contenues dans la seconde colonne :

Heures.	Déviations définitives.
h m	
8.40	14°
9.40	16
10. 0	14
11.30	13

A ce moment on retourna la lame; la partie qui n'avait pas été impressionnée, étant à son tour exposée à la lumière, donna 13 degrés de déviation.

Un écran ayant intercepté la lumière à $11^h\ 30^m$, l'aiguille revint à + 1 degré. Ainsi le courant électrique a conservé sensiblement la même intensité par une action continue des rayons de la lampe pendant trois heures. Les faibles variations peuvent se rapporter aux changements d'intensité de la lampe, ou aux changements de température du liquide de la cuve à eau. Il est indispensable, dans les expériences de ce genre, d'avoir soin d'éviter ces variations.

La lumière solaire donne lieu aux mêmes effets, mais avec plus d'énergie; il est donc nécessaire de modérer l'intensité lumineuse qui, sans cela, impressionnerait trop vivement la lame, et diminuerait plus rapidement l'intensité du courant électrique.

Il est évident, d'après ces expériences, que, lorsque l'on ne fait agir la lumière sur la lame que pendant une minute ou deux, de façon à avoir seulement la déviation définitive de l'aiguille du galvanomètre, et qu'on soustrait ensuite la lame impressionnable à l'action des rayons, on peut conserver, pendant au moins un jour, la même sensibilité à l'appareil, et faire un grand nombre d'expériences comparatives capables d'indiquer si l'intensité de la source lumineuse a changé.

§ II. — *Action des rayons différemment réfrangibles.*

L'appareil qui vient d'être décrit, ayant une sensibilité assez grande pour mettre en évidence l'action exercée par les rayons solaires, ou par les rayons émanés d'une source lumineuse artificielle, sur la couche chromatiquement impressionnable, et, en outre, les effets étant comparables pendant un temps assez long, si l'on observe les précautions indiquées plus haut, il devenait intéressant de comparer l'action des rayons différemment réfrangibles.

Pour ne laisser pénétrer sur la lame qu'une portion bien déterminée du spectre solaire, on a placé, en avant de la cuve à eau, un écran muni d'une fente verticale de $2^{mm},5$ d'ouverture, de sorte que la portion impressionnée de la lame se trouvait bornée à un rectangle de $2^{mm},5$ de base sur 5 centimètres de hauteur.

On a formé un spectre bien épuré, en faisant pénétrer les rayons solaires réfléchis par un héliostat à travers une fente mince et verticale du volet de la chambre obscure, et les réfractant dans un prisme de flint. Derrière ce prisme, situé à 1 mètre du volet, se trouvait une lentille de $0^{m},60$ de foyer, qui a donné, à une certaine distance, un spectre avec toutes ses raies. Le spectre, à l'aide duquel on a agi, avait à peu près $3^{cent},5$ de largeur, dans la direction parallèle aux raies, et 10 à 11 centimètres de longueur, depuis la raie A jusqu'à H, ses dimensions ayant varié un peu dans chaque série d'opérations. Il résulte de là, qu'à chaque expérience, un quarantième de la longueur du spectre tombait sur la partie de la lame impressionnable qui devait être affectée par le rayonnement.

La cuve à eau était disposée sur un chariot, se déplaçant au moyen d'une vis micrométrique le long d'une règle divisée parallèlement à la longueur du spectre. On pouvait donc apprécier, à chaque instant, la position de la cuve à eau. Par une expérience préliminaire, on déterminait directement à quelles divisions de la règle se trouvait l'appareil, quand les raies principales du spectre D, E, F, G se présentaient au milieu de l'ouverture de l'écran placé devant la cuve à eau; ensuite, à l'aide d'un calcul fort simple, on en déduisait les positions des autres raies, ou des autres parties du spectre.

On a fait ainsi les différentes séries d'expériences dont nous allons rapporter les résultats.

Dans les deux premières, on a cherché la déviation de l'aiguille du galvanomètre par première impulsion, en interceptant la lumière, immédiatement après l'action des

rayons. Dans la troisième, on a opéré en prenant la déviation définitive, laissant continuellement agir la lumière, et faisant seulement avancer le chariot pour déplacer la lame sensible dans le spectre.

TABLEAU N° I. — *Le liquide conducteur de la cuve à eau est une dissolution de* 1 *gramme de sulfate de potasse dans* 100 *grammes d'eau; on fait varier l'ouverture de la fente du volet dans les trois expériences.*

DIVISIONS de la règle divisée du chariot.	RAIES DU SPECTRE correspondant au milieu de la partie impressionnée de la lame.	DÉVIATION PAR PREMIÈRE IMPULSION.		
		1re expérience	2e expérience.	3e expérience.
centim 0,767	Rouge. A (par le calcul.)	"	"	"
1,2	"	0,2	"	"
1,4	"	1,0	3,0	"
1,6	"	1,0	"	"
1,8	"	1,1	7,0	4,0
2,0	"	1,7	"	"
2,2	"	1,8	9,5	4,5
2,4	"	2,0	"	"
2,6	D	2,0	10,5	"
2,8	"	2,5	11,75	7,0
3,0	"	"	"	"
3,2	"	3,0	16,0	7,25
3,6	"	"	"	7,25
3,96	E	"	"	"
4,0	"	"	16,0	5,5
5,275	F	2,5	11,9	4,5
7,7	G	0,75	3,0	1,0
	Violet.			

TABLEAU N° II. — *Le liquide conducteur est de l'eau acidul l'acide sulfurique contenant 2 grammes d'acide à 66 pour 100 grammes d'eau.*

DIVISIONS de la règle divisée du chariot.	RAIES du spectre correspondantes.	DÉVIATION PAR PREMIÈRE IMPULS	
		1re expérience.	2e expérie
centim	Rouge.		
2,7	A (par le calcul.)	"	"
3,0	"	2°,5	"
3,4	"	3,5	"
3,8	"	7,0	"
4,2	"	14,0	"
4,7	D	15,5	"
5,1	"	17,0	19°,8
5,5	"	20,0	20,2
5,95	E	20,0	20,0
6,25	B	17,0	"
6,50	"	"	"
7,3	"	11,0	"
	Bleu.		

TABLEAU N° III. — *Même liquide conducteur que précédem*

DIVISIONS de la règle du chariot.	RAIES du spectre correspondantes.	DÉVIATION DÉFINITI de l'aiguille du multiplicateu
centim		
2,0	A (par le calcul.)	"
2,4	"	1,0
2,8	"	6,0
3,0	"	7,0
3,4	"	9,75
3,85	D	12,0
4,20	"	12,5
4,60	"	14,0
5,0	"	14,0
5,07	E	"
5,50	"	13,0
6,05	F	11,5
8,3	G	"

Quand on opère par un procédé semblable, en dehors du spectre visible, au delà du violet et du rouge, on n'obtient aucune action appréciable.

Ces résultats montrent qu'il n'y a d'effet produit que dans les parties du spectre comprises entre les raies A et H, c'est-à-dire entre les limites des rayons perceptibles à l'organe de la vision; de plus, quoique les déviations ne puissent pas servir à mesurer immédiatement l'intensité des rayons actifs, on peut voir que le maximum d'action est situé entre D et E, près de E, au commencement du vert, et que les effets sont moindres à partir de là jusqu'aux extrémités du spectre: en dehors de A et de H, il n'y a plus d'effets bien appréciables. Ainsi, là où il y a lumière, on observe une action donnant lieu à un courant électrique; en dehors des rayons dont la réfrangibilité correspond aux rayons visibles, on n'observe aucun effet.

Les expériences de Fraunhofer sur la mesure des intensités lumineuses du spectre placent le maximum de lumière près de D. Si les effets accusés par notre appareil sont d'autant plus énergiques que la lumière est plus intense, ils indiqueraient donc, pour maximum, une région plus éloignée de D, et plus près de E. On ne pourra être fixé sur la position exacte du maximum d'intensité lumineuse, que lorsque, à l'aide d'un procédé photométrique permettant de comparer des lumières de nuances différentes, on aura déterminé les intensités lumineuses des différentes parties du spectre. Jusqu'à présent, on ne peut donc pas se prononcer sur la coïncidence ou la non-coïncidence de position du maximum d'action sur la matière sensible et du maximum de lumière.

J'ai fait usage, dans ce travail, d'un fil d'argent bien décapé, comme lame sensible, quand il est nécessaire de n'avoir qu'une surface rectangulaire très-mince, impressionnée par la lumière; alors une moitié de la surface cylindrique du fil est seule impressionnée.

menter ou de diminuer l'étendue de la surface im
sionnée suivant des quantités connues, de façon q
déviation du multiplicateur reste constante. On a
prenant pour déviation constante + 30 degrés du gal
mètre, les résultats suivants :

DISTANCE de la lame sensible au foyer de la lentille.	INTENSITÉS LUMINEUSES calculées par rapport à la première intensité.	HAUTEUR de l'ouverture de l'é pour maintenir la déviat. définitive à
centim		mm
20	1	8,10
30	0,444	12,26
40	0,250	19,40
50	0,160	26,51
60	0,111	32,00

Il n'y a aucun rapport simple entre l'intensité lumi
et l'étendue d'une même lame pour obtenir le même
rant électrique. Ainsi une surface chimiquement sen
d'une étendue double, impressionnée par un faisce
rayons lumineux d'une intensité moitié moindre, ne d
pas lieu au même courant électrique, mais à un co
électrique plus énergique. On ne peut donc pas se ser
la mesure de l'étendue de la surface impressionnée
comparer immédiatement les intensités lumineuses.

L'expérience suivante conduit également à la mêm
clusion :

On a mis l'appareil à une distance telle, que la lam
à 30 centimètres du foyer de la lentille. Pour mai
la direction de l'aiguille aimantée à + 29 degrés, il a
ouvrir l'écran mobile de 17 millimètres.

On a alors augmenté l'ouverture de l'écran ; avec 3
limètres d'ouverture, l'aiguille du galvanomètre s'est d
à 73 degrés. Mais en éloignant l'appareil le long de la
divisée, l'aiguille du galvanomètre s'est rapprochée de

pour qu'elle se maintint à + 29 degrés, il a fallu s'arrêter à $44^{cent},10$ du foyer de la lentille.

Le rapport des intensités lumineuses, dans le dernier cas, est de $\left(\frac{44,1}{30}\right)^2 = 2,15$. Dans le premier cas, le rapport des surfaces impressionnées est $\frac{32}{17} = 1,88$.

Les expériences faites avec une lampe n'ont conduit également à aucune proportionnalité entre les intensités lumineuses et les surfaces impressionnables.

J'aurais voulu faire des expériences analogues en faisant varier les intensités lumineuses à l'aide de la double réfraction, au lieu de me servir d'un cône de rayons divergents; mais le temps ne m'a pas permis de mettre ce projet à exécution : je compte le faire dans la suite de ces recherches.

Il reste à savoir maintenant comment on pourrait comparer les intensités lumineuses d'un même faisceau de rayons ou de faisceaux différents, en faisant usage des effets électriques produits lors de l'action de ces rayons sur la substance sensible. On doit conclure de ces recherches que l'on devrait toujours opérer sur la même étendue de substance impressionnable ou sur la même lame sensible, et faire varier, d'après un procédé connu, l'intensité du faisceau de rayon actif jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre indiquât toujours la même déviation. L'appareil, dont on peut augmenter beaucoup la sensibilité, en le mettant en rapport avec un multiplicateur plus sensible, servirait donc à constater le moment où chaque faisceau aurait la même intensité d'action.

Réflexion sur l'emploi de l'actinomètre, et résumé.

Les résultats rapportés dans ce travail montrent que la matière sensible, qui reçoit les impressions colorées de la lumière, donne lieu, lors de l'action des rayons lumineux, à un courant électrique dont l'intensité dépend de la puissance de l'effet produit.

La sensibilité de cette couche impressionnable est très grande, et, en faisant usage d'un galvanomètre à fil très long, on pourrait mettre en évidence l'action due à un faisceau lumineux de faible intensité, en suivant les indications données dans cette Note.

Les plaques préparées suivant le procédé décrit dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXV, pages 447 et suivantes, reçoivent, de la part des différents rayons colorés, des impressions colorées dont la teinte est analogue à celle des rayons actifs. Le violet, le bleu, le vert, le jaune du spectre se peignent avec leurs nuances; mais le rouge fonce rapidement, et devient violet foncé vers les raies B et A. Depuis cette dernière publication, qui a été l'objet d'un Rapport favorable de la part de l'Académie, je suis parvenu à préparer les surfaces impressionnables, de façon à avoir de très-belles impressions photochromatiques dans lesquelles les teintes jaune, orangé et rouge sont semblables à celles du spectre; il est nécessaire, pour atteindre ce but, de déposer sur les lames d'argent une épaisseur plus grande de la matière impressionnable que je ne l'avais d'abord indiqué, et de s'arrêter à l'épaisseur correspondante aux anneaux colorés du quatrième ou cinquième ordre; puis, ensuite, on doit exposer ces lames à l'action des rayons rouges extrêmes, dont la réfrangibilité est moindre que B. Pour cela, on superpose un verre bleu foncé de cobalt, et un verre rouge foncé, coloré par le protoxyde de cuivre. Cette réunion ne laisse traverser que les rayons rouges extrêmes.

Lorsque la lame préparée a été soumise pendant une heure ou deux à l'action de ces rayons, elle devient noire; si alors on la recuit à la température de 80 degrés pendant quelque temps, elle devient apte à recevoir parfaitement les teintes de la portion la moins réfrangible du spectre qui, dans mes premières recherches, venait moins bien que les parties les plus réfrangibles.

Quant au vert, au bleu et au violet du spectre, ils se peignent avec des tons magnétiques.

L'expérience a démontré que cette préparation n'est pas nécessaire pour les lames destinées à être plongées dans la cuve à eau de l'actinomètre, car elle leur ôte de la sensibilité. On doit se borner, comme je l'ai déjà dit, à la préparation à la pile, puis au recuit à une température plus élevée, jusqu'à ce que la surface soit un peu rosâtre.

Les résultats précédents relatifs au développement d'électricité par suite de l'action de la lumière sur la matière sensible, joints aux effets de coloration présentés par cette substance, montrent que les rayons actifs se comportent comme les rayons lumineux de même réfrangibilité.

Je suis naturellement appelé à dire quelques mots des réactions chimiques produites sur la matière qui reçoit les impressions colorées.

L'uniformité des effets électriques, quels que soient les rayons colorés actifs, jointe à cette circonstance, qu'après une action extrêmement prolongée, la surface prend une teinte grisâtre uniforme, due à un sous-chlorure d'argent ou à l'argent métallique, me portent à croire qu'il n'y a pas autant de réactions différentes, ni autant de chlorures particuliers qu'il existe de couleurs dans le spectre. Doit-on dire qu'il s'opère sur les lames sensibles une transformation purement physique du composé soumis à l'expérience? Mais alors comment se fait-il que toutes les fois qu'une coloration est produite par un faisceau de rayons colorés, il y a également transformation chimique, comme on peut facilement s'en convaincre en lavant la surface à l'ammoniaque ou à l'hydrosulfate de soude? On ne peut pas répondre actuellement à ces questions; les analyses sont fort difficiles à faire, vu le peu de matières sur lesquelles s'exercent ces réactions. Néanmoins, je suis porté à croire qu'il y a eu même temps changement chimique et transformation physique pendant que ce changement a lieu.

Pour que les effets électriques dus à l'action photogénique puissent servir à comparer les intensités des rayons actifs, il est nécessaire, comme nous l'avons vu dans ce travail, de plusieurs conditions :

1°. Sensibilité de la matière ;

2°. Constance de la sensibilité, ou du moins permanence pendant un temps plus ou moins long.

Les résultats dont il a été question dans le § I montrent qu'entre certaines limites la sensibilité est suffisante ; et, en outre, que cette sensibilité est telle, qu'il y a permanence du courant électrique pendant quelque temps, lorsque l'intensité lumineuse ne varie pas.

J'ai dû abandonner la formation de tables des intensités pour servir de comparaison aux intensités des rayons actifs, comme ne me paraissant pas susceptibles d'assez d'exactitude. J'ai pensé alors à déduire l'intensité lumineuse de l'étendue plus ou moins grande que l'on doit faire impressionner sur une lame sensible pour arriver à la même intensité électrique ; mais les résultats obtenus dans le § III ne permettent pas d'adopter cette méthode. On peut cependant arriver à cette comparaison, en opérant toujours sur la même étendue de surface impressionnable, et faisant varier, par un procédé connu, l'intensité des rayons actifs jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre indique toujours la même déviation. L'appareil décrit ici servirait donc à constater le moment où chaque faisceau aurait la même intensité.

Je regrette que la saison avancée ne m'ait pas permis d'achever l'étude des phénomènes dont il est question dans ce travail ; mais on peut juger, d'après les résultats précédents, que je suis parvenu à construire un appareil indiquant la puissance électrique due à l'action chimique produite par un faisceau de rayons lumineux sur la substance chromatiquement impressionnable, et qui joint à une grande sensibilité la propriété d'être comparable à lui-même pendant un certain temps.

ACTION DE LA VAPEUR D'EAU,

A des températures et pressions variables, sur les carbonates de potasse, de soude, de baryte, de chaux, de manganèse, de plomb et d'argent;

PAR M. V.-A. JACQUELAIN,

Préparateur à l'École centrale des Arts et Manufactures de Paris.

Présenté à l'Académie des Sciences, dans la séance du 4 février 1850.

Deux dissolutions salines existaient, depuis trois mois, dans mon laboratoire, à l'École centrale des Arts et Manufactures; l'une renfermait du carbonate de soude, et l'autre du sulfate de magnésie.

Leur préparation avait été confiée à deux élèves, à des époques différentes, et les quantités de matières solides qui servirent à les préparer avaient été prises au hasard.

Malgré la diversité des circonstances qui ont précédé la dissolution des deux sels, il est arrivé qu'un même poids de ces dissolutions contenait la même quantité de chaque sel employé. Ainsi :

$$30^{gr} \text{ de solut. de carbonate de soude} = \begin{cases} 2{,}316^{gr} \text{ de carbon. fondu.} \\ 27{,}684 \text{ d'eau.} \end{cases}$$

$$30^{gr} \text{ de solut. de sulfate de magnésie} = \begin{cases} 2{,}316 \text{ de sulfate anhyd.} \\ 27{,}684 \text{ d'eau.} \end{cases}$$

Un fait aussi imprévu méritait d'être mentionné pour montrer qu'il faut, dans l'analyse, se défier même d'une certaine coïncidence entre les résultats numériques devant se contrôler réciproquement.

L'état de ces dissolutions m'ayant présenté la singulière propriété de se mélanger en toute proportion, avec ou sans addition d'eau, sans produire de carbonate de magnésie, j'ai voulu remonter à la cause de cette anomalie; ce qui m'a

conduit à l'étude analytique minutieuse des carbonates alcalins, terreux et métalliques, mentionnés dans ce Mémoire.

Ma première idée fut de concentrer dans le vide, et jusqu'à poids constant, un même poids de chaque dissolution saline; or,

30 grammes de dissolut. de carbonate de soude m'ont donné... { 3gr,2 de carbonate hydraté. 26gr,8 d'eau.

30 grammes de dissolut. de sulfate de magnésie..... { 3gr,2 de sulfate hydraté. 26gr,8 d'eau.

Redissolvant alors chaque sel dans 26gr,8 d'eau pour reconstituer les 30 grammes de dissolutions primitives, et faisant le mélange, je n'ai pas obtenu de précipité, même après vingt-quatre heures. Mais, au bout d'une semaine, ce même mélange abandonna des cristaux transparents et très-réguliers de carbonate hydraté de magnésie.

Malheureusement, un accident me priva de ces cristaux, et, d'autre part, j'avais épuisé mes dissolutions primitives.

Pour expliquer cette inertie momentanée des deux dissolutions, deux hypothèses vraisemblables se présentaient :

1°. On pouvait supposer que le carbonate de soude et le sulfate de magnésie, à cause de l'ancienneté des dissolutions, avaient passé à un degré d'hydratation capable de modifier l'action réciproque de ces combinaisons salines;

2°. On pouvait admettre aussi que le carbonate de soude, obtenu par évaporation dans le vide, possédait une composition différente (quant à l'acide carbonique) de celui que la même dissolution laissait en résidu, après concentration à feu nu.

Pour vérifier la première hypothèse, j'entrepris deux séries d'expériences. La première comprend la double décomposition entre des dissolutions contenant chacune 2gr,3 ou 23 grammes de l'un des sels anhydres, et 27gr,7 ou 277 grammes d'eau. Dans la deuxième série, on agissait avec 47gr,52 de sulfate de magnésie hydraté égal à 23 grammes

de sel anhydre, et 63gr,083 de carbonate de soude hydraté égal à 23 grammes de sel anhydre; chaque produit étant dissous dans l'eau nécessaire pour faire en tout 300 grammes de dissolution, comme dans la première série.

Voici maintenant, par numéros d'ordre, les termes de chaque série:

1re série. — *Dissolutions des sels anhydres.*

Nos 1	dissolut. faites à	18 degrés C.,	mélangées immédiatement.
2	*Id.*	18 degrés C.,	au bout de deux mois.
3	*Id.*	80 degrés C,	immédiatement.
4	*Id.*	80 degrés C.,	au bout de deux mois.

2e série. — *Dissolutions des sels hydratés.*

Nos 5	*Id.*	18 degrés C.,	mélangées immédiatement.
6	*Id.*	18 degrés C.,	au bout de deux mois.
7	*Id.*	80 degrés C.,	immédiatement.
8	*Id.*	80 degrés C.,	au bout de deux mois.

Pour tous ces mélanges, il y eut formation instantanée d'un précipité blanc très-abondant; mais les troisièmes termes de chaque série ont présenté cette particularité, que le précipité, d'abord pulvérulent, diminuait chaque jour, au point qu'en soixante-douze heures tout le dépôt pulvérulent avait été remplacé par des groupes lenticulaires de cristaux aiguillés très-courts et divergents comme les rayons d'une sphère.

Analyse des carbonates précédents.

Toutes les analyses consignées dans ce Mémoire ont été exécutées avec autant de précision que de rapidité, au moyen d'un petit appareil que je recommande à l'attention des chimistes qui auraient à entreprendre des recherches exactes et nombreuses sur la composition des carbonates naturels, solubles ou insolubles, et notamment des marnes.

La pièce principale, dont je donne le dessin, *Pl. I*,

fig. 1 (*d*), se représente par un tube en U, dont la plus courte branche porte un renflement sphérique terminé supérieurement par un coude formant angle droit avec la plus courte branche. Vers la partie inférieure de la boule, et à l'intérieur de la courte branche, on voit une espèce d'entonnoir renversé, percé à sa pointe d'un trou très-petit.

Lorsqu'il s'agit de faire un dosage d'acide carbonique, on introduit dans le tube de l'acide sulfurique pur et concentré jusqu'à moitié de la hauteur de la boule. On ferme l'extrémité verticale par un bouchon de liége; vers l'extrémité horizontale on introduit une nacelle de platine, contenant un poids connu de carbonate qu'il faut analyser; enfin cette branche horizontale s'ajuste, par l'intermédiaire d'un caoutchouc, à un petit tube à potasse de Liebig, soudé à un petit tube droit rempli de pierre ponce imprégnée d'acide sulfurique pur. Je préfère avoir ces deux pièces réunies en une seule, comme l'indique la *fig.* 1 (*e*). Ce petit appareil peut servir plusieurs fois de suite. Cet assemblage de tubes étant suspendu à une potence, on frappe à petits coups sur la grande branche pour faire tomber, par petites portions, tout le carbonate dans l'acide. Lorsqu'on opère sur des carbonates de chaux, de baryte, réduits en poudre fine, la réaction se termine en plongeant le tube à boules dans un bain d'eau bouillante.

L'entonnoir renversé a pour effet d'arrêter les parcelles du carbonate qui tomberaient au fond de l'acide sulfurique avant leur entière décomposition; ainsi les pertes d'acide carbonique sont impossibles.

A la fin de l'expérience, l'appareil se trouve rempli d'acide carbonique; alors on débouche l'extrémité verticale, puis on aspire de l'air par le tube à pierre ponce, jusqu'à ce que tout l'acide carbonique soit absorbé par la potasse du tube Liebig. L'expérience est alors terminée sans erreur possible, puisque l'acide carbonique, produit au sein de l'acide sulfurique, arrive sec dans la potasse; puisque l'air qui

expulse l'acide carbonique, à la fin de l'opération, se dessèche en arrivant, par très-petites bulles, dans l'acide sulfurique de la boule.

Aux conditions d'exactitude et de célérité que présente cet appareil, il faut ajouter l'avantage qu'il a de servir à quatre ou cinq expériences consécutives, sans exiger ni le renouvellement de l'acide sulfurique, ni celui de la potasse. Ainsi la pesée du tube à potasse est un travail acquis pour plusieurs expériences.

Revenons maintenant aux résultats numériques obtenus par l'analyse des produits correspondants à chaque terme dans les deux séries :

Matières employées.	N^os^.				Pour 100.
α	1	1,370 =	magnésie caustique	0,399 =	29,10
	2	2,000 =	magnésie caustique	0,584 =	29,20
	2	0,941 =	acide carbonique	0,291 =	30,92
β	3	2,000 =	magnésie caustique	0,740 =	37,00
	3	0,594 =	acide carbonique	0,185 =	31,14
α	4	2,000 =	magnésie caustique	0,581 =	29,05
	4	0,961 =	acide carbonique	0,297 =	30,92
α	5	2,000 =	magnésie caustique	0,582 =	29,10
	5	0,846 =	acide carbonique	0,263 =	31,08
	6	1,176 =	magnésie caustique	0,342 =	28,23
	6	0,946 =	acide carbonique	0,292 =	30,86
γ	7	2,000 =	magnésie caustique	0,691 =	34,50
	7	2,697 =	magnésie caustique	0,926 =	34,33
	7	0,968 =	acide carbonique	0,301 =	31,10
α	8	1,079 =	magnésie caustique	0,314 =	29,10

L'uniformité de composition des numéros du même ordre, 1, 2, 4, 5, 6, 8, démontre, d'une manière satisfaisante, que l'inertie apparente des *dissolutions primitives* ne saurait dépendre ni de leur ancienneté, ni de la température à laquelle on les a préparées et mélangées.

Quant à l'écart de composition des numéros 3 et 7, il

Sulfate anhydre et neutre de magnésie obtenu en faisant une pâte de sulfate hydraté, avec de l'acide sulfurique pur, puis calcinant à la lampe d'alcool, dans un creuset de platine, jusqu'à cessation de perte et neutralité parfaite du résidu. } $1^{gr},466 = 0,492$ { Magnésie caustique complétement pure d'acide sulfurique après trois calcinations au rouge-blanc. } =

Magnésie précédente. $0,492 = 1^{gr},466$ { Sulfate neutre anhydre après sursaturation par SO^3HO et calcination à la lampe d'alcool; donc $0,974\ SO^3$. } =

Sulfate anhydre précéd. $1^{gr},464 = 2,838\ SO^3\,BaO = 0,975\ SO^3$ =

Ces expériences d'analyse et de synthèse, se contrôlant réciproquement, nous offrent des résultats numériques d'une coïncidence parfaite. Je m'en servirai pour rectifier l'équivalent de la magnésie, et, par suite, celui du magnésium.

La composition et l'équivalent du sulfate de magnésie seront donc représentés de la manière suivante :

		Calcul.	Expérience.	Berzelius trouve
SO^3.....	501,16	33,56	33,56	34,22
MgO....	253,15	66,44	66,44	65,73
	754,31	100,00	100,00	99,95

En adoptant 500 pour équivalent de l'acide sulfurique ainsi que j'ai pu le constater moi-même en 1844, celui de la magnésie devient 252,55; et, par suite, celui du magnésium s'élève à 152,55, au lieu de 158,3, nombre ancien.

Dans les analyses qui vont suivre, j'ai maintenu l'équivalent 501,16 afin de pouvoir comparer mes résultats avec ceux des observateurs qui auraient étudié le même sujet; ainsi nous écrirons 153,15, bien qu'en toute rigueur il faille adopter 152,55.

Sulfate de magnésie cristallisé à — 20°....	3,000 =	1,464	de sulfate anhydre	= 48,80	
Sulfate de magnésie cristallisé à + 20°....	3,000 =	1,464	de sulfate anhydre	= 48,80	
Sulfate de magnésie cristallisé à + 20°....	5,000 =	1,940	eau perdue dans le vide	= 38,80	
Id..	5,000 =	1,940	eau perdue dans le vide	= 38,80	51,20
		0,620	eau perdue par calcination	= 12,40	
Id.....	5,000 =	2,440	de sulfate anhydre neutre	= 48,80	
Sulfate de magnésie cristallisé à + 70°....	5,000 =	1,940	eau perdue dans le vide	= 38,80	
Id.....	5,000 =	2,441	sulfate anhydre et neutre	= 48,82	

Ces analyses démontrent que, depuis — 20 degrés centigrades jusqu'à + 70 degrés centigrades, le sulfate de magnésie cristallise toujours avec la même composition.

Elles prouvent que la dessiccation du sulfate de magnésie dans le vide s'arrête à un point qui correspond à un composé défini, ainsi que l'on peut s'en assurer par les compositions centésimales suivantes :

			Calcul.	Expérience.	Berzelius.	Longchamp.	Wollaston.	Gay-Lus.(*)
Sulfate de magnésie cristallisée à — 20°, à + 20°, à + 70°	SO^3	754,31	48,92	48,80	57,46	47	48,473	48,57
	MgO.	787,50	51,08	51,20	42,54	53	51,527	51,43
	7 (HO). .	1541,81	100,00	100,00	100,00	100	100,000	100,00
Sulfate de magnésie séché dans le vide	$4SO^3$	3017,24	79,31	79,74				
	MgO	787,50	20,69	20,26				
	7 (HO)...	3804,74	100,00	100,00				

(*) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XIII, p. 311.

Pour compléter les observations que j'ai à communic sur les sulfates de magnésie, je dirai que le sulfate, qui a perdu 4 équivalents d'eau dans le vide, a regagné 2 équ lents d'eau très-exactement au bout de deux jours d'exp tion à l'air; 3 équivalents d'eau en quatre jours, et en jours les 4 équivalents perdus primitivement.

On connaît donc maintenant

$4(SO^3MgO), 7(HO)$; $4(SO^3MgO), 9(HO)$;
$2(SO^3MgO), 5(HO)$; $(SO^3MgO), 7(HO)$.

Enfin, je dois faire remarquer que la déshydratation sulfate de magnésie est impraticable au bain d'huile, à c du temps considérable qu'elle exige; impraticable au fe lampe à l'alcool dans un creuset de platine, parce que portions qui avoisinent les parties du vase se décompo quand les autres ne sont pas entièrement déshydratées. C pour cette raison que j'ai imaginé l'addition de l'acide furique pur, qui permet alors de chauffer dans le creu et qui emporte, en se volatilisant, la totalité de l'eau combinaison du sulfate magnésien.

Dans ces conditions, on obtient à coup sûr un sulfat magnésie tout à fait neutre et anhydre : neutre, car la solution de ce composé n'altère en aucune sorte les pap réactifs les mieux préparés; anhydre, car il faut un te considérable pour en opérer la dissolution complète. N retrouvons donc au sulfate de magnésie fortement dessé une propriété que j'ai déjà signalée pour la chaux vive tenue par la décomposition de l'azotate de chaux, laq exige plusieurs jours de contact avec l'eau pour se dé complétement. (*Revue scientifique et industrielle de Q neville*, 2e série, tome XIV.)

Je passe maintenant à l'analyse des carbonates de s purs, provenant de différentes sources ou préparati Comme ces combinaisons éprouvent très-promptemen phénomène de l'efflorescence, je me suis borné à les

idiatement après les avoir desséchées plusieurs fois
es compressions dans plusieurs doubles de papier

de soude pur, livré par la maison Robiquet; je l'ai fait cristalliser à 12 degrés, comprimé, puis fondu.

= 0,946 Acide carbonique = 40,28 p. 100.

rbonate fondu au rouge dans un courant d'acide car-ur et sec, jusqu'au refroidissement de la nacelle de lacée dans un tube de porcelaine.

= 0,42175 Acide carbonique = 39,09 p. 100.
= 0,344 Acide carbonique = 39,55 p. 100.

ition expérimentale et théorique :

	Calcul.	Expérience.	Expérience.
. 275	41,35	39,22	40,28
. 390	58,65	60,78	59,72
665	100,00	100,00	100,00

Conclusions.

carbonate en fusion perd de l'acide carbonique; usion prolongée, en présence d'un courant de ce onne une perte plus grande; ou du moins le cou-z ne préserve pas le carbonate d'une perte plus cide carbonique, provoquée sans doute par une s longtemps soutenue.

rbonate de soude cristallisé à — 20 degrés.

		Pour 100.
1,016	Carbonate fondu = 0,413 ac. carbon.	= 11,41
1,123	Carbonate fondu = 0,413	= 28,07
2,877	Eau totale..... = ...	71,92
1,125	Carbonate fondu = 0,413	= 28,12
2,875	Eau totale..... = ...	71,87

on tire :

	Calcul.		Expérience.	
275,0	11,68	28,25	11,41	28,09
390,0	16,57		16,68	
1687,5	71,75		71,89	
2352,5	100,00		99,98	

Carbonate de soude à — 20 degrés, puis desséché à 100 d

1,421 = 0,522 Carbonate fondu..... 3
1,421 = 0,897 Eau perdue..... 6

Carbonate cristallisé à + 20 degrés.

4,000 = 1,475 Carbonate fondu..... 3
2,715 = 1,016 Carbonate fondu = 0,413 ac. carb. = 1
4,000 = 2,525 Eau totale..... 6
3,000 = 1,875 Eau perdue dans le vide.. 62,50 } 6
3,000 = 0,035 Eau perdue par calcinat.. 1,16 }
3,000 = 1,090 Carbonate fondu..... 3

Autre carbonate cristallisé à + 20 degrés.

2,020 = 0,745 Carbonate fondu..... 3
2,020 = 1,275 Eau totale..... 6

Faisant la moyenne de ces résultats, en tenant comp la quantité de carbonate de soude anhydre et de sa co sition expérimentale établie dans cette série, il vient :

		Calcul.		Expérience.	
CO^2.....	275	15,40	37,24	14,91	3
NaO.....	390	21,84		21,79	
$10\dot{C}(HO)$..	1125	62,76		63,28	
	1785	100,00		100,00	

Conclusions.

1°. Le carbonate cristallisé à — 20 degrés est plu draté que celui cristallisé à + 20 degrés ;

2°. Le premier, desséché dans le vide, se chang carbonate de même composition que celui cristall + 20 degrés ;

3°. Dans tous les carbonates analysés jusqu'ici, la q tité d'acide carbonique recueillie est toujours inférie celle fixée par le calcul, d'après les équivalents.

Dans un échantillon de carbonate de soude pur en d lution, on a dirigé un courant d'acide carbonique en q

tité suffisante pour produire une faible proportion de bicarbonate de soude. Par une première cristallisation, on s'est débarrassé du bicarbonate de soude; par une seconde, qui a fourni du carbonate neutre, on avait la certitude d'éliminer les dernières portions de bicarbonate; et, par une troisième cristallisation, faite à 30 ou 40 degrés, on a recueilli du carbonate neutre dont on a fait l'analyse, après lui avoir fait subir les épurations déjà mentionnées plus haut.

Carbonate neutre.

				Pour 100.
3,59	= Carbonate sec 1,43	= Eau perdue 2,16		60,16

Autre carbonate provenant de la maison Guérin et purifié comme le précédent.

3,2615	= Carbonate sec 1,2485	= Eau perdue 2,013		61,82
1,063	= 0,173	Acide carbonique.		16,27
3,639	= 1,416	Carbonate fondu.		38,91
2,348	= 0,914	Carbonate fondu		
		= 0,372 ac. carb.		15,84

D'où l'on tire, en définitive :

		Calcul.	Expérience.
CO^2.....	275,0	16,39	16,27
Na O....	390,0	23,24	23,07
9(HO).	1012,5	60,37	60,66
	1677,5	100,00	100,00

Tous les carbonates de soude analysés jusqu'ici ayant constamment précipité le sulfate de magnésie, j'étais naturellement conduit à entreprendre l'examen des bicarbonates de potasse et de soude. Ces bicarbonates ont été préparés en redissolvant dans l'eau du bicarbonate de soude ou de potasse, et concentrant, après ébullition, pour avoir une première cristallisation de carbonate, lequel redissous dans peu d'eau, et sursaturé d'acide carbonique, abandonne bientôt du bicarbonate de l'une ou l'autre base. Reste à laver

avec une petite quantité d'eau distillée à o degré, et à dessécher par compression entre du papier à filtre.

Quant à l'action de ces bicarbonates sur le sulfate de magnésie, je n'ai pas à l'étudier ici ; tous les chimistes savent depuis longtemps, que ces bicarbonates ne précipitent pas les sels de magnésie. Je renvoie donc à une autre époque le carbonate de magnésie que j'ai vainement cherché à reproduire, et je poursuis l'étude analytique dans laquelle ce carbonate magnésien vient de m'engager, afin d'arriver plus vite aux conclusions principales de ce Mémoire.

Bicarbonate, troisième cristallisation.

gr			Pour 10
0,7945	= 0,394	Acide carbonique.....	49,8

Deuxième cristallisation.

0,9840	= 0,5075	Acide carbonique.....	51,5

I. — *Bicarbonate, première cristallisation.*

1,650	= 0,854	Acide carbonique.....	51,7
2,336	= 1,468	Carbon. fondu = 0,597 ac. carbon.	25,5

Première cristallisation (desséché dans le vide).

2,337	= 1,481	Carbonate fondu.....	63,3

II. — *Première cristallisation* (desséché dans le vide).

2,337	= 0,856	Eau et ac. carbon. excédant perdus.	36,6
1,995	= 0,224	Eau recueillie.....	11,2
1,995	= 0,632	Acide carbonique par différence...	25,4

Établissant la composition définitive des bicarbonate analysés sous les nos I et II, on trouve :

		Calcul.	Expér. No I.	Exp. No II.
$2(CO^2)$...	550,0	52,25	51,75	50,80
NaO.....	390,0	37,05	37,28	37,98
HO.....	112,5	10,68	10,97	11,22
	1052,5	99,98	100,00	100,00

Passons aux bicarbonates de potasse :

Bicarbonate simplement comprimé, séché.

gr			Pour 100.
1,301	= 0,548	Acide carbonique total.....	42,12

Bicarbonate une fois lavé, comprimé, séché.

1,223	= 0,518	Acide carbonique total.....	42,35

Bicarbonate trois fois lavé, comprimé, séché.

1,183	= 0,511	Acide carbonique total.....	43,16	
2,305	= 1,589	Carbonate fondu.....	68,93	
2,305	= 2,015	Sulfate neutre de potasse.....	47,24	KO
1,178	= 0,255	Acide carbonique partiel.....	21,64	
1,178	= 0,112	Eau.....	9,51	

D'où il résulte, en adoptant les nombres du bicarbonate le plus pur :

		Calcul.	Expér.	Berzelius a trouvé
$2(CO^2)$..	550,0	43,91	43,16	44
KO.....	590,0	47,10	47,24	47
HO.....	112,5	8,98	9,50	9
	1252,5	99,99	99,90	100

Je dois ajouter que le bicarbonate de potasse, placé dans un tube de 4 millimètres de diamètre, et chauffé lentement au bain d'huile, commence à se décomposer à 190 degrés centigrades, en abandonnant l'eau et la moitié de son acide carbonique. Dès que le phénomène se ralentit, on porte à 200 degrés centigrades; en quelques minutes, la réaction se termine brusquement et sans retour. Cette dessiccation alors est aussi parfaite que par la calcination.

Conclusion.

Tous les bicarbonates analysés précédemment renferment, comme les carbonates simples, une proportion trop faible d'acide carbonique; enfin, comme pour les carbonates simples, les bicarbonates amenés à l'état de fusion donnent toujours un sel trop riche en soude ou en potasse.

En chimie analytique, par conséquent, il faudra toujours se tenir en garde lorsqu'on se proposera de déterminer l'équivalent d'une base d'après la composition de son carbonate, et les calculs qui ont fixé l'équivalent de l'acide carbonique d'après l'analyse d'un carbonate, doivent se ressentir de cette cause d'erreur.

Toute la difficulté, comme on le voit, est dans la préparation des carbonates et bicarbonates alcalins bien saturés, qui doivent servir à la préparation des carbonates insolubles par double décomposition.

Préparation des carbonates et bicarbonates purs de potasse et de soude.

Le bicarbonate de potasse ou de soude, précipité lors de l'action de l'acide carbonique sur un carbonate alcalin, entraîne toujours un peu de ce dernier. Il convient donc de le redissoudre à froid, de sursaturer d'acide carbonique à + 15 degrés, puis de soumettre la dissolution à l'action d'un mélange réfrigérant à — 20 degrés. Après congélation, il faut jeter sur un linge fin; l'eau congelée se liquéfie en s'écoulant à travers le filtre, tandis que le bicarbonate, maintenu à 0 degré par la liquéfaction de la glace, reste sur le linge. On se hâte alors de comprimer et sécher le produit entre deux papiers à filtre, pour en faire immédiatement l'analyse.

Pour les carbonates neutres de ces mêmes bases, on procède d'une manière analogue.

Toutes ces analyses de carbonates ayant confirmé mon opinion sur la possibilité de décomposer partiellement le carbonate de soude par la vapeur d'eau à une température élevée, je me suis demandé si les carbonates terreux et métalliques n'éprouveraient pas, soit à froid, soit à chaud, une décomposition analogue en présence de la vapeur d'eau.

Action de la vapeur d'eau sur les carbonates.

1°. Le carbonate de soude, porté à la température de sa fusion, dans une nacelle de platine déposée au milieu d'un tube de porcelaine, se décompose (par la vapeur d'eau chauffée à 90 degrés, et entraînée par un écoulement d'air, afin d'éviter les projections).

En effet, plaçant à la suite du tube de porcelaine un appareil que j'ai fait connaître sous la désignation de *tube laveur*, chargé d'une dissolution de chlorure de barium ammoniacale bien limpide, j'ai obtenu un dépôt considérable de carbonate de baryte. Il est bien entendu que j'ai interposé entre le tube de porcelaine et le tube laveur, un tube en U, afin de n'avoir avec l'air que la vapeur d'eau et l'acide carbonique.

2°. Du carbonate de soude, fondu après dessiccation préalable à 100 degrés, a été redissous, et la dissolution, maintenue bouillante pendant une demi-heure, a constamment perdu de l'acide carbonique, recueilli avec les précautions précédentes.

3°. Du carbonate de soude pur, pulvérisé, puis séché entre des papiers à filtre, a été placé dans deux cornues tubulées, avec précaution de n'en pas souiller le col; fermant ensuite, avec un bouchon court et mastiqué, on a fait glisser le col dans un tube étroit contenant de l'eau de baryte, de manière à plonger dans ce liquide à la profondeur de 3 centimètres; l'un des appareils ainsi disposés étant placé dans un bain d'eau bouillante, et l'autre dans le vide de la machine pneumatique, on a obtenu de part et d'autre un précipité abondant de carbonate de baryte.

4°. Puisque les bases les plus énergiques cèdent ainsi de leur acide carbonique, il était présumable que les carbonates insolubles ne feraient pas exception à la règle.

En effet, des carbonates de *baryte*, de *chaux*, de *magnésie*, de *plomb*, d'*argent*, préparés avec un grand soin

à l'état d'hydrates, et soumis pareillement, soit à l'action directe de la vapeur d'eau portée à 100 degrés, à 90 degrés, ou bien exposés dans le vide, ou bien traversés, à 25 degrés, par un courant d'air humide et privé d'acide carbonique, ont toujours abandonné de l'acide carbonique et produit du carbonate de baryte en quantité notable.

Conclusion.

Les carbonates alcalins sont décomposés partiellement à la température rouge par un courant de vapeur d'eau; les carbonates terreux et métalliques abandonnent aussi de l'acide carbonique vers 100 et 25 degrés centigrades, à la pression ordinaire ou dans le vide, sous l'influence d'un courant de vapeur d'eau ou d'air humide.

Des faits à peu près du même ordre, mais plus faciles à prévoir, avaient été signalés par M. Rose, dans son Mémoire (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXIII, page 64).

Conséquences pour l'opération du marnage en agriculture.

Au lieu de borner nos observations à l'énoncé des faits concernant la décomposition des carbonates alcalins, terreux ou métalliques; au lieu de considérer ces faits comme une difficulté au simple point de vue de la préparation des carbonates parfaitement saturés d'acide carbonique, examinons ce qui se passe à la surface de la terre, et voyons si cette propriété des carbonates ne nous apparaîtrait pas comme un fait nécessaire au point de vue du développement des végétaux.

Puisque le carbonate de chaux artificiel est analogue à celui des terrains crayeux proprement dits, et des argiles calcaires ou marneuses, je crois ne pas m'écarter de la vérité, en admettant que les marnes, douées d'une action si fertilisante pour différentes cultures, étant soumises à la

radiation solaire, en présence de l'air atmosphérique, comme dans les expériences mentionnées dans ce Mémoire, devront s'échauffer d'abord, puis abandonner une certaine quantité de l'eau qui les imprégne, et dégager enfin une certaine proportion d'acide carbonique, entraîné par cette vapeur d'eau elle-même.

De là, une source nouvelle et abondante d'acide carbonique rasant le sol, et dont les plantes herbacées vont fixer le carbone à leur profit. Cette perte incessante d'acide carbonique de la part de la craie devra s'accroître avec la température, et, par conséquent, avec l'état hygrométrique de l'air, surtout quand la pression atmosphérique diminue. Ce phénomène s'accomplira sous les tropiques avec plus d'énergie que dans les climats tempérés; il a dû se produire d'une manière plus marquée dans le temps où la surface de notre planète avait une température plus élevée, où la végétation était plus luxuriante; il doit être plus intense dans les couches profondes de notre globe, quand ces couches exhalent, à l'état de vapeur, une partie de l'eau qui les imprégne; enfin les effluves carboniques des volcans, et celles de certaines caves du Marais, à Paris, quand elles sont restées closes pendant longtemps, doivent se rattacher à cette même cause.

Mais à la température de la congélation de l'eau, et, par conséquent, en hiver, les différents carbonates, devenus légèrement basiques pendant les saisons chaudes, emprunteront à l'air son acide carbonique, à l'eau qui tombe à la surface du sol celui qu'elle tient en dissolution; ils deviendront de nouveau le siége d'approvisionnement d'un corps qui reprendra son état gazeux en présence de la vapeur d'eau, convenablement échauffée par les rayons du soleil.

On conçoit néanmoins que cette alternance de phénomène est limitée dans sa durée par la quantité de carbonate que les récoltes successives ont laissé sur le sol.

Je terminerai ce sujet en faisant remarquer surtout que

les interprétations théoriques des phénomènes étudiés dans ce Mémoire, et, par conséquent, de leur application dans la nature, s'accordent parfaitement avec les principales conclusions auxquelles est arrivé M. Théodore de Saussure par son remarquable travail sur l'appréciation de l'acide carbonique contenu dans l'air atmosphérique provenant de différentes localités.

Ainsi donc la respiration de tous les animaux qui vivent au sein des mers ou sur la terre, les combustions de matières organiques destinées à l'éclairage et au chauffage des populations errantes ou civilisées; les éruptions volcaniques, les combustions lentes de toutes les matières mortes, végétales ou animales, abandonnées à une altération spontanée par le concours de la chaleur, de l'air et de l'humidité; l'exhalation nocturne des végétaux, la propagation des innombrables corpuscules de matières verte ou rouge qui végètent dans les eaux douces, stagnantes ou les eaux de la mer, sont autant de sources d'acide carbonique dont l'heureuse influence pour la végétation vient s'ajouter à la décomposition lente de la craie, de la marne, sous l'influence de la vapeur d'eau convenablement échauffée par les rayons du soleil.

La marne agirait donc à la fois comme amendement, parce qu'elle modifie les propriétés du sol de manière à le rendre moins compacte, plus poreux, et comme principe substantiel des récoltes par les matières azotées, la chaux et l'acide carbonique qu'elle peut leur fournir.

Nota. M. Payen, l'un des Commissaires rapporteurs du Mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie, m'ayant manifesté le désir de voir fonctionner un appareil qui pût démontrer la décomposition partielle des carbonates étudiés dans ce travail, voici les dispositions que j'ai cru devoir adopter pour cet objet :

Soit un tube laveur à six grandes boules (*fig.* 2) (*a*) contenant une dissolution de potasse caustique à 40 degrés, aréomètre Baumé; à la suite, on place un tube de Will et Varentrapp, (*b*) contenant de l'eau de baryte bien limpide.

Ce tube à baryte communique à son tour avec un tube en U (*c*) que l'on remplit de fragments de verre, mouillés d'une dissolution concentrée faite avec du carbonate de soude, préalablement fondu, afin de chasser le carbonate ammoniacal qu'il pourrait contenir. Si l'on opère sur des carbonates insolubles, on se contente de les introduire dans ce tube à l'état d'une bouillie claire, facile à déplacer par le courant d'air humide. Enfin ce tube en U est suivi d'un tube laveur (*a'*), chargé d'eau de baryte, et communiquant avec un grand tube (*d*), rempli de potasse caustique en menus morceaux.

Cette précaution a pour but d'empêcher que l'acide carbonique de l'air extérieur ne rétrograde vers l'eau de baryte de ce dernier tube laveur, au moment où le flacon (*e*) d'écoulement qui termine l'appareil vient de se vider.

Résumé.

Dans ce Mémoire, je donne :

1°. Une méthode d'analyse pour les carbonates;

2°. La composition de deux nouveaux carbonates de magnésie :

$4(CO^2), 5(MgO), 10(HO)$; $5(CO^2), 6(MgO), 14(HO)$.

3°. La détermination de l'équivalent de la magnésie, 252,55 ;

4°. La composition de trois nouveaux sulfates de magnésie :

$4(SO^3MgO), 7(HO)$;

$4(SO^3MgO), 9(HO)$;

$2(SO^3MgO), 5(HO)$;

5°. Composition de deux carbonates de soude :

$CO^2NaO, 9(HO)$; $CO^2NaO, 10(HO)$; $CO^2Na_2O, 15(HO)$;

6°. La préparation des carbonates et bicarbonates de potasse de soude le plus saturés possible;

7°. Je démontre, 1° que le carbonate de soude en fusion perd de l'acide carbonique, même en présence d'un courant de gaz CO^2 sec et pur; 2° que les carbonates alcalins, terreux et métalliques, sont décomposés partiellement par la vapeur d'eau, à la température rouge pour les premiers, et pour tous à 100 degrés centigrades, à 25 degrés, à 12 degrés sous la pression ordinaire et dans le vide;

8°. Enfin, je déduis les conséquences pour l'opération du marnage en agriculture.

NOTE SUR QUELQUES PHÉNOMÈNES DE RÉPULSIONS ÉLECTRIQUES;

PAR M. L.-R. CHARAULT,
Préparateur de Physique au Lycée Napoléon.

Lorsqu'on vient à électriser un liquide dans lequel est plongé un aréomètre, on voit celui-ci s'élever immédiatement, et paraître indiquer une densité plus grande dans le liquide. Si l'on enlève l'électricité, il retombe au point où il s'était d'abord arrêté. Cette ascension est d'autant plus considérable, que la charge est plus forte. Il est bon que l'aréomètre ne plonge que jusque vers le milieu de la tige : un mélange de volumes égaux d'eau et d'alcool ordinaire dans lequel on plonge un aréomètre pèse-esprits, est très-convenable pour cette expérience. On peut employer, pour contenir le liquide, une éprouvette à pied, en verre, que l'on place sur un corps isolant; et afin que les actions capillaires ne portent pas l'aréomètre contre les parois de l'éprouvette, on place sur l'ouverture un obturateur en verre percé d'un trou à son centre, au travers duquel on fait passer la tige de l'aréomètre : dans ces circonstances, l'expérience réussit complétement. Il m'est arrivé plusieurs fois

d'obtenir une ascension de plus de 3 centimètres au-dessus du point primitif d'affleurement avec une machine électrique ayant un plateau d'environ 1 mètre de diamètre, et chargée au maximum.

On pourrait attribuer cette ascension à une augmentation de la densité du liquide, mais on sait déjà qu'elle ne varie pas dans cette circonstance. J'ai répété, à ce sujet, une expérience, qui consiste à remplir complétement d'eau un ballon en verre, d'une capacité de 9 à 10 litres, à le fermer au moyen d'un bouchon au travers duquel passe un tube de verre très-étroit que l'on remplit également d'eau en partie; puis on fait passer dans le tube un fil métallique qui touche l'eau, et on le met en communication avec la machine électrique. Si alors on électrise l'eau, on voit que le niveau ne change pas dans le tube, même en l'observant avec une lunette munie d'un réticule horizontal. L'ascension de l'aréomètre n'est donc point due à une augmentation dans la densité de la masse liquide, car elle est telle pour une charge électrique égale à celle du ballon dans l'expérience ci-dessus, que le volume du liquide devrait varier d'une quantité très-sensible.

On peut en trouver l'explication dans une répulsion électrique s'exerçant entre le liquide et la surface de l'aréomètre. Concevons, en effet, un cylindre plongé dans un liquide électrisé : une répulsion s'exercera entre le liquide et la surface du cylindre. Or les répulsions, sur les parois latérales, se détruisent, puisqu'elles agissent toutes en sens contraire les unes des autres, et qu'elles sont égales en tous sens ; mais la force répulsive qui s'exerce sur la base du cylindre, n'étant contre-balancée par aucune autre, poussera ce cylindre hors du liquide : il s'établira pourtant un équilibre. Quand le cylindre s'élève, le poids du volume liquide déplacé n'est plus égal au poids de l'aréomètre; il en diffère du poids d'un volume de liquide égal au volume du cylindre qui est sorti hors de ce liquide. Cette différence de

poids tend à contre-balancer la force répulsive, et elle augmente avec l'ascension du cylindre, il ar moment où elle lui fera équilibre. On voit aussi q corps est entièrement plongé dans le liquide éle corps ne sera animé d'aucun mouvement, les r agissant en tous sens, et se détruisant les unes le

Un aréomètre peut être assimilé à un cylindre quel une portion de la répulsion exercée sur la b neutralisée par une autre répulsion exercée en traire sur la face supérieure qui plongerait dans l La résultante finale serait égale à une répulsion ex une base de cylindre égale à la section de la tige mètre.

Si, lorsque l'aréomètre est plongé dans le liqu trisé, on en approche un corps qui possède la mêm cité que lui, on le voit redescendre dans le liquid contraire, on en approche un corps électrisé en traire, on le voit s'élever encore davantage.

En faisant communiquer le liquide où est plong mètre avec l'armure interne d'une bouteille de l d'une batterie électrique, l'ascension a également correspond à celle qui serait déterminée par un électrique directe, dont la tension serait égale à l de l'électricité libre qui est répandue sur l'armur du condensateur. On peut opérer autrement : on p bouteille de Leyde à armures mobiles; on enlève interne et l'on verse un liquide dans l'intérieur d teille, puis on plonge un aréomètre dans ce liqu charge alors le condensateur; peu à peu l'aréomètr il redescend aussitôt que l'on effectue la décharge. deux cas, il est évident que l'ascension est produite lectricité libre de l'armure qui communique à la n

On a supposé jusqu'ici le liquide conducteur prend un aréomètre métallique et un liquide peu teur, de l'huile par exemple, des phénomènes par

:nt suivant que l'on plonge plus ou moins la tige
qui fait communiquer le liquide avec la ma-
tige ne fait que toucher la partie supérieure du
voit l'aréomètre s'abaisser davantage. Si la tige
squ'au milieu ou au-dessous de l'aréomètre, on
ı'un mouvement latéral qui tend à éloigner l'a-
: la tige. On peut expliquer ces faits en remar-
le liquide ne s'électrise pas; l'électricité de la
nunique cependant à l'aréomètre métallique à
ouche liquide qui les sépare. Il y a donc répul-
a tige et l'aréomètre : si cette répulsion s'exerce
supérieure de ce dernier, il y a abaissement.
:rémité de la tige est vers la partie médiane de
ongée de l'aréomètre, les répulsions ont une
ui tend à les éloigner.
ces expériences, on substitue à l'aréomètre en
réomètre en verre, on n'observe rien. En effet,
re ne s'électrise pas.
l'expérience précédente sur l'huile et l'aréo-
étal, on met de la sciure de bois dans le liquide,
les courants analogues à ceux qui se produisent
ıide dont on chauffe la partie inférieure. Si, à
en métal, on substitue une tige communiquant
mouvements prennent une grande régularité,
a tige électrisée à celle qui communique au sol.
:ssayé si la position de l'aréomètre était influen-
n courant d'électricité dynamique traversait un
cun mouvement n'a été observé, même en va-
ıre du liquide. Le même résultat négatif s'ob-
on substitue au courant de la pile une décharge
de Leyde ou de batterie électrique; bien en-
dans ce dernier cas, on s'arrange de manière à
l'électricité libre de l'armure interne de s'é-
le sol.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — AVRIL 1851.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	761,32	+ 7,3		760,87	+10,3		760,71	+11,2		761,71	+ 6,8		+11,3	+ 4,4	Couvert.....	N. O.
2	762,80	+ 5,5		762,60	+12,1		761,43	+12,6		761,10	+ 8,9		+12,8	+ 1,5	Très-nuageux.....	S.
3	760,08	+10,6		759,43	+12,8		758,81	+12,1		759,57	+ 8,5		+12,6	+ 7,5	Couvert.....	O.
4	758,70	+ 7,8		757,49	+10,2		756,55	+10,0		756,48	+ 6,1		+10,2	+ 4,9	Couvert.....	N.
5	755,45	+ 5,7		755,40	+ 7,2		755,30	+ 8,3		756,29	+ 6,2		+ 8,9	+ 2,1	Éclaircies.....	N.
6	757,97	+ 5,4		757,80	+ 7,5		756,89	+ 8,3		757,47	+ 4,5		+ 9,0	+ 1,7	Nuageux.....	N. E.
7	756,41	+ 3,6		755,87	+ 8,6		754,96	+ 8,9		755,20	+ 4,8		+ 9,5	+ 2,4	Couvert.....	N. E.
8	752,83	+ 5,2		752,26	+ 7,1		751,57	+ 9,0		751,91	+ 4,8		+ 9,8	+ 1,8	Couvert.....	N.
9	752,69	+ 5,3		752,50	+ 9,4		752,39	+10,0		753,81	+ 7,3		+11,0	+ 2,9	Couvert.....	O. N. O.
10	755,15	+ 8,0		754,96	+10,0		754,75	+ 9,0		755,02	+ 6,4		+10,5	+ 4,9	Éclaircies.....	O. N. O.
11	753,67	+ 4,5		752,79	+ 9,4		751,42	+11,8		751,20	+ 8,6		+12,5	+ 2,2	Beau.....	N. E.
12	751,46	+ 9,6		751,46	+12,8		751,31	+14,2		752,70	+10,2		+14,5	+ 5,3	Beau.....	N. E.
13	753,42	+ 8,2		753,00	+11,6		752,35	+14,9		752,63	+11,6		+15,7	+ 6,8	Couvert.....	N. E.
14	758,43	+10,0		751,46	+16,5		750,87	+18,3		751,24	+11,2		+18,7	+ 8,9	Nuageux.....	E. N. E.
15	750,87	+10,2		751,45	+14,7		750,38	+16,6		752,24	+11,2		+16,8	+ 8,9	Couvert.....	N.
16	753,58	+10,8		753,06	+18,0		752,10	+19,8		751,46	+16,2		+19,9	+ 8,9	Nuageux.....	S.
17	754,17	+16,6		754,45	+18,8		755,02	+16,5		755,82	+13,7		+18,8	+11,6	Couvert.....	S.
18	757,00	+15,3		755,97	+20,2		755,18	+21,2		756,83	+15,7		+22,1	+12,7	Très-nuageux.....	S.
19	758,46	+14,0		758,26	+16,1		757,20	+16,1		754,35	+12,8		+16,7	+13,0	Couvert.....	E.
20	750,16	+14,4		749,40	+16,2		747,16	+20,0		747,00	+16,9		+20,3	+12,6	Pluie.....	E. S. E.
21	750,03	+16,1		750,18	+18,2		749,70	+19,0		749,48	+12,7		+19,9	+14,1	Éclaircies.....	S. O.
22	745,37	+16,2		744,93	+15,7		744,35	+19,6		744,83	+14,4		+20,1	+11,9	Pluie.....	S.
23	751,79	+12,9		751,82	+15,9		751,07	+15,9		752,70	+ 8,9		+16,7	+ 9,4	Couvert.....	S. S. O.
24	752,80	+13,6		751,86	+16,1		750,43	+16,4		748,90	+12,7		+16,9	+ 8,1	Couvert.....	S.
25	748,49	+10,8		748,92	+11,4		749,56	+12,6		752,48	+ 8,5		+13,0	+ 9,8	Couvert.....	N. fort.
26	752,96	+10,8		751,86	+12,9		750,60	+12,9		748,96	+10,0		+13,0	+ 6,8	Très-nuageux.....	N. N. O.
27	744,34	+ 7,6		743,90	+ 5,5		743 09	+ 5,7		745,65	+ 4,5		+11,5	+ 4,5	Pluie.....	N. N. O.
28	748,65	+ 6,4		748,36	+11,1		747,85	+11,3		749,53	+ 4,3		+12,4	+ 1,9	Nuageux.....	S. O.
29	751,06	+ 9,4		750,96	+11,5		750,46	+11,4		751,70	+ 5,2		+11,7	+ 4,2	Nuageux.....	S. O.
30	751,86	+10,9		751,41	+12,3		750,61	+13,1		750,93	+ 7,9		+13,1	+ 3,9	Couvert.....	S.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA PROPAGATION DU COURANT ÉLECTRIQUE DANS LA TERRE ;

PAR M. CH. MATTEUCCI.

Introduction historique.

Je crois utile de commencer l'exposition de mes recherches sur la propagation du courant électrique dans la terre, par un abrégé historique des travaux qui ont été publiés par les physiciens qui m'ont précédé dans l'étude de ce sujet. Aldini et Ermann, depuis 1803, avaient prouvé que le courant d'une pile à colonne de Volta pouvait se propager par des longueurs assez grandes d'eau de mer ou d'une rivière. Steinheil, ayant eu l'occasion, en 1838, d'établir une ligne télégraphique d'environ une lieue et trois quarts d'Allemagne, entre l'observatoire de Munich et les bâtiments de l'Académie des Sciences, a trouvé, le premier, que la moitié de son circuit télégraphique pouvait être remplacée par la terre, en faisant terminer le fil métallique qui réunit les deux stations, par des plaques enterrées à une certaine profondeur. Dans une Note sur ce télégraphe électrique, qui est insérée dans les *Annales de Chimie et de Physique*, juillet 1839, il est même annoncé que ce physicien avait trouvé, par des expériences qui n'ont jamais paru ensuite, la loi suivant laquelle *les forces galvaniques se dispersent en passant à travers la terre, ou par des eaux d'une très-grande étendue.* Jacobi à Saint-Pétersbourg, et Bain à Londres, dans les années 1842 et 1843, ont fait aussi des expériences pour prouver la bonne conductibilité de la terre. Bain fit ses expériences en enterrant une plaque de zinc dans une portion humide de Hyde-Park, et en la réunissant, à l'aide d'un fil conducteur suspendu au-dessus du sol, à une lame de cuivre

qui était enterrée à la distance de plus d'un mille, et il trou... que *les phénomènes électromagnétiques observés dans... circuit n'augmentaient pas beaucoup en diminuant no... blement cette distance.* Jacobi aussi avait trouvé que, d... un circuit télégraphique assez long, formé en partie par... fil métallique et en partie par la terre, la résistance de... couche terrestre pourrait être considérée comme n'exerç... pas d'influence. Il est vrai que M. Jacobi lui-même avo... que, dans l'expérience faite avec le circuit mixte, il av... deux fils métalliques réunis au lieu d'un, comme dans... autres expériences, ce qui nécessairement devait réduir... presque de moitié la résistance du circuit.

Il paraît que, vers cette époque, Wheatstone et Co... avaient eu l'idée d'employer la terre pour remplacer... moitié d'un circuit télégraphique; mais M. Bain réclam... la priorité de cette découverte.

Dans l'été de 1844, j'ai commencé mes premières recher... ches sur la conductibilité de la terre, et, en opérant sur des longueurs assez grandes et dans des conditions de sol très-variées, j'ai démontré, par des expériences rigoureuses, que la résistance d'un circuit formé d'un fil métallique et d'une couche de terre restait sensiblement la même, en faisant varier la longueur de cette couche depuis quelques centaines de mètres jusqu'à plusieurs kilomètres, et j'ai affirmé que, dans les circuits télégraphiques, il fallait désormais employer la terre pour former la moitié du circuit.

Une Commission, nommée par le congrès de Milan, en 1845, confirma mes expériences sur des longueurs de couches terrestres encore plus grandes. Enfin, M. Breguet, en 1845, en opérant sur la ligne télégraphique de Paris à Rouen, de 137 kilomètres, trouva que la résistance de la terre était *très-petite*, ou presque nulle, comparativement à celle d'un conducteur métallique de la même longueur. Évidemment il était établi, par tous les résultats que j'ai rapportés, que, dans un circuit d'une longueur très-

formé en partie d'un fil métallique et en partie
uche terrestre, l'intensité du courant est la même,
eu moindre que celle qu'on aurait en ayant, dans
t, la seule partie métallique. Ce fait, très-remar-
ıvait besoin d'être étudié de nouveau pour le véri-
toute sa généralité, pour en trouver les lois et
ɔ.

ɔériences faites par la Commission de Milan et par
ieur Mazzini sur les mêmes circuits entre Milan
, et celles de M. Breguet qui sont, après les miennes,
ont été tentées sur les plus grandes longueurs, ne
t pas conduire à des résultats très-exacts et décisifs,
e l'isolement imparfait des circuits expérimentés.
ini ayant exécuté toutes ses expériences dans le
montrer qu'indépendamment de la pile il y avait
nt électrique dans un circuit métallique dont une
mités était suspendue dans l'air, et l'autre ter
r une plaque métallique, enterrée, *ce qui n'a ja-*
si le fil est parfaitement isolé ; il était prouvé par
circuits sur lesquels ce physicien avait fait ses ex-
étaient imparfaitement isolés. Effectivement, les
liques suspendus entre Milan et Monza, pour une
le 13900 mètres, qui sont aussi ceux sur lesquels
ission du Congrès a exécuté ses expériences,
ıutenus sur des poteaux en bois à l'aide de tiges
ıvertes d'une couche de taffetas gommé qui est un
très-facile à se déchirer. En effet, cette Commis-
va que l'isolement de ces fils métalliques était im-
uoique ces recherches, dans ce but, ne fussent pas
ıns les conditions les plus favorables. Plusieurs de
iences furent exécutées dans des journées très-
:t même pendant la pluie.

:s expériences de M. Breguet, l'isolement des fils
es était loin d'être parfait, comme il arrive lors-
ıt employer des circuits télégraphiques à des re-

cherches très-délicates, et quoique la bonne conductibili de la terre en résulte, démontrée par l'intensité toujo plus grande du courant d'une même pile dans un circ composé d'un fil métallique de 137 kilomètres de longue et d'une couche de terre, sur celle de ce courant, dans u circuit entièrement métallique et d'une longueur double, n'est pas moins vrai que les nombres donnés par ce phy cien ne s'accordent pas entièrement entre eux, comme serait nécessaire pour établir la valeur de la résistance de terre et les lois du phénomène étudié. Il faut ajouter enco qu'en comparant entre eux les résultats obtenus dans u circuit métallique et un circuit mixte, les différences du au défaut d'isolement ne sont pas les mêmes et ne sont p constantes. J'achèverai cette Introduction historique, q j'ai tâché de rendre la plus courte possible, en citant un expérience qu'on fait à chaque moment dans les bureaux d télégraphes électriques, et qui prouve que la conductibilit d'une longue couche terrestre comprise entre les deux extré mités d'un fil métallique isolé, et qui plongent dans de puits, est meilleure que celle de plusieurs fils métalliques réunis et ayant la même longueur. En effet, sur les lignes télégraphiques formées de plusieurs fils soutenus sur les mêmes poteaux et suffisamment isolés, on peut faire passer un courant électrique dans un des fils sans obtenir aucune déviation dans l'aiguille d'un galvanomètre ordinaire qui fait partie du circuit formé par les autres fils réunis. Il suffit de réfléchir à la disposition des fils dans les bureaux télégraphiques pour être certain que le circuit, dans l'expérience citée, pouvait se compléter par les autres fils aussi bien que par la terre.

Je crois convenable de diviser ce Mémoire en deux parties : dans la première, j'exposerai les lois de la propagation du courant électrique dans la terre; et dans la seconde, les expériences sur lesquelles est fondée la théorie de ce phénomène.

PREMIÈRE PARTIE.

De la méthode suivie dans ces expériences.

§ I. — La première condition à satisfaire, en voulant déterminer les lois de la conductibilité de la terre, est celle d'opérer sur un circuit métallique d'une longueur plus ou moins grande, et toujours *parfaitement isolé;* en d'autres termes, il faut que le circuit soit tel, que, lorsqu'il est ouvert à une des extrémités, il n'y ait pas de courant sensible au galvanomètre avec lequel on expérimente, et qui est placé à l'autre extrémité à côté de la pile, dont un des pôles communique avec le galvanomètre et l'autre avec la terre. Dans un grand nombre de mes expériences, j'ai employé un fil de cuivre de $1\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur, et couvert d'une grosse couche de gutta-percha. Je possédais 8 kilomètres de ce fil, dont la moitié m'avait été fournie par M. Breguet, et l'autre par M. Yzembay, de Londres. Lorsqu'on a soin de couvrir avec de la gutta-percha en lames toutes les unions du circuit et les points où le fil métallique ne paraît pas suffisamment couvert, on est sûr d'avoir ce circuit parfaitement isolé, de quelque manière qu'il soit posé sur le sol. J'ai très-souvent eu les 8 kilomètres étendus, ou le long d'un chemin de fer, ou sur le sable au bord de la mer. Une des extrémités du fil était suspendue dans l'air, tandis que l'autre communiquait avec un galvanomètre à système astatique très-sensible et avec une pile de 8 couples de Bunsen, et enfin avec une lame de cuivre plongée dans l'eau, ou de la mer ou d'un puits : *je n'ai jamais eu la moindre déviation* dans l'aiguille. Ce n'est qu'après la pluie et le contact prolongé du fil sur l'herbe humide, que l'isolement du circuit n'est plus si parfait avec ce galvanomètre.

En employant un seul couple de Bunsen et le galvanomètre moins sensible dont j'ai fait usage dans mes expériences, je n'avais pas, malgré la pluie, une différence

sensible dans l'isolement. Toutefois j'ajouterai que, dans toutes mes expériences exécutées avec ce fil de cuivre couvert de gutta-percha, j'ai eu toujours soin de le suspendre, ou aux poteaux des lignes télégraphiques, ou sur des fourches en bois. Pour étendre et retirer facilement les 8 kilomètres de mon fil, j'ai trouvé très-commode de l'enrouler sur un gros tambour en bois qui était porté, ou sur une charrette, ou sur un wagon, ou sur une barque, suivant l'endroit où l'on faisait les expériences. J'ai aussi opéré sur des lignes télégraphiques, longues depuis 20 jusqu'à 80 kilomètres, formées avec un fil de fer n° 11, dont le poids est de 60 kilogrammes pour 1 kilomètre. Afin d'obtenir le meilleur isolement possible avec ces circuits, j'ai fait interposer entre le fil métallique et la gorge d'une pièce de porcelaine opaque qui le soutient, une lame assez épaisse de gutta-percha. Aux poteaux de traction, les fils de fer étaient fixés à de grosses poulies de porcelaine qui étaient attachées à l'appareil de traction par un fil de fer passant par le centre des poulies. La communication entre les deux fils de la ligne se faisait par un fil de cuivre couvert de gutta-percha, et soudé au delà des poulies. En opérant sur des lignes télégraphiques ainsi préparées, et dans un temps sec depuis plusieurs jours, l'isolement est aussi parfait, au moins pour les longueurs dans lesquelles j'ai opéré, qu'avec le fil de cuivre couvert de gutta-percha. Dans les circuits de fil de fer, longs de 20 à 40 kilomètres, et avec une pile de 2 à 4 éléments de Bunsen, je n'ai pas, dans les conditions favorables, une déviation sensible à mon galvanomètre. Dans les mêmes circonstances, et dans les circuits longs depuis 80 jusqu'à 150 kilomètres, je suis parvenu, avec 6 éléments, à n'avoir que $\frac{1}{2}$ degré de déviation totale, le circuit étant ouvert à l'extrémité la plus éloignée de la pile. Ce défaut d'isolement n'avait pas d'influence sensible sur mes résultats, comme, en effet, je m'en suis assuré en mesurant le courant obtenu de la même pile, tantôt tenu

près du galvanomètre, tantôt à la plus grande distance possible.

§ II. — La pile que j'ai employée dans toutes mes expériences est celle de Bunsen, dont on fait usage dans nos bureaux télégraphiques. A l'aide de certaines précautions, et en employant toujours les mêmes éléments, on obtient un courant qui peut être regardé constant pour ce genre d'expériences. Il faut avoir soin que les unions entre les couples se fassent avec du cuivre amalgamé, et l'anneau du cuivre de charbon doit être nettoyé au moins une fois par jour : il faut également renouveler la solution d'acide sulfurique, et passer en même temps une goutte de mercure sur les zincs. Quant à l'acide nitrique, on le renouvelle en partie en tenant toujours la même quantité de liquide dans le verre. Quand on cesse d'expérimenter, on ôte la porcelaine de l'acide nitrique, et on y laisse la solution d'acide sulfurique. Comme dans mes expériences le circuit reste fermé pour un temps très-court, on conçoit que le courant doit rester constant pour plusieurs heures : ainsi je n'ai jamais trouvé une diminution, après deux ou trois heures, plus grande que $\frac{2}{10}$ à $\frac{3}{10}$ de degré. D'ailleurs j'ai toujours eu soin, soit au commencement, soit à la fin de chaque expérience, de mesurer la force de la pile dans un circuit d'une résistance donnée.

§ III. — Opérant sur des circuits métalliques très-longs et d'une grande résistance, j'ai été forcé d'employer une pile douée d'un pouvoir électromoteur très-fort. Avec une pile thermo-électrique, sans considérer toutes les difficultés pour obtenir un courant constant, et surtout dans les circonstances où je faisais mes expériences, j'aurais été obligé d'employer un galvanomètre très-sensible avec un système de deux aiguilles compensées. Dans ce cas, outre les altérations inévitables qui arrivent dans le magnétisme de ce système, et qui étaient d'autant plus faciles, étant obligé de changer souvent de place le galvanomètre, j'aurais ob-

tenu, par les hétérogénéités des lames métalliques qui plongent dans le sol, des courants plus ou moins forts que ceux de la pile. De là donc la nécessité pour moi d'employer un électromètre très-fort, et un galvanomètre à une seule aiguille. J'aurais pu employer la boussole à sinus de M. Pouillet, et je l'ai fait dans quelques circonstances; mais, en suspendant l'aiguille à un fil de cocon, pour lui donner une plus grande mobilité, il devient difficile que cette aiguille conserve sa position d'équilibre, et il faut toujours un temps très-long avant de pouvoir lire la déviation. D'ailleurs, étant obligé de lire le premier mouvement de l'aiguille, ou la déviation totale, il m'était impossible d'employer cet appareil, au moins dans tous les cas. J'ai donc choisi un galvanomètre construit par M. Goujon pour les courants thermo-électriques, après avoir substitué à l'aiguille extérieure un brin de paille bien droit et assez solide, à l'extrémité duquel était fixée une pointe de fil de cuivre très-mince et teinte en noir. Le centre de suspension de cette aiguille, qui faisait quinze oscillations en dix secondes, était toujours fixé rigoureusement au centre d'un cadran ayant 190 millimètres de diamètre, et divisé en quarts de degrés. Je lisais la position de l'aiguille avec une lunette du goniomètre de M. Babinet, et je pouvais ainsi très-facilement juger du dixième de degré. Le galvanomètre était placé sur un support très-solide en bois, en forme de console, que je pouvais fixer à la paroi de la chambre où je faisais mes expériences. Il faut toujours empêcher l'action des courants d'air, des rayons de soleil, et l'approche de lumières sur la cloche qui recouvre le galvanomètre.

§ IV. — Avec la méthode de dérivation décrite, je crois, la première fois par le professeur Petrini, de Lintz, j'ai formé une Table à l'aide de laquelle, par une construction graphique, qui me donne avec précision le dixième de l'unité, j'ai, depuis o jusqu'à 30 degrés, les déviations fixes, les déviations totales et les forces correspondantes. Je me

crois dispensé de la description de cette méthode connue par tous les physiciens.

§ V. — J'ai construit avec du fil de laiton un cadre de résistance composé de 1 000 lignes, chacune desquelles avait 2 mètres de longueur. Il est impossible, quel que soit le soin qu'on se donne en choisissant entre un grand nombre de bobines, de construire cet appareil de manière à présenter la même résistance pour le même nombre de fils dans toutes ses parties. Cette difficulté rend défectueuse la méthode, d'ailleurs très-facile et très-simple, pour la mesure des courants d'une intensité très-différente.

J'ai donc, avec le fil de laiton d'une même bobine, dont 2 mètres pesaient 870 milligrammes, formé les premiers 50 fils, ou lignes du cadre : j'ai enroulé une partie de ce même fil sur le rhéostat de Wheatstone. La résistance de chacune de ces 50 lignes, mesurée séparément, était sensiblement la même pour mon galvanomètre, et égale à celle qu'on obtient avec 50 tours du rhéostat.

Dans les circuits moins longs, c'est-à-dire dans ceux formés avec les 8 kilomètres de fil de cuivre couvert de gutta-percha, les premières 50 lignes du cadre étaient suffisantes pour mes expériences.

Dans les circuits plus longs que 8 kilomètres, et quand j'ai voulu employer la méthode de Wheatstone pour mesurer la résistance des couches terrestres et des fils métalliques, j'opérais en obtenant la même déviation avec la même pile; d'abord dans le circuit expérimenté seul, et après, avec un certain nombre de lignes du cadre : ensuite, je trouvais directement quel était le nombre des lignes prises parmi les premières 50, dont la résistance était égale à celle du nombre des lignes qui étaient en expérience au-dessus de ces 50. De cette manière, la résistance totale venait à être exprimée par un nombre de fils d'une résistance sensiblement égale. J'ai toujours eu soin de ne jamais introduire dans le circuit un nombre de fils du cadre plus grand que

celui qui était nécessaire pour mesurer la résistance ajoutée par la couche terrestre. La communication entre la pile, ou le galvanomètre et les fils du cadre, était faite avec une pince de laiton qui serrait ce fil sur une largeur de 10 millimètres, et qu'on frottait d'avance avec du papier de verre très-fin : toutes les autres communications s'établissaient au moyen du mercure, avec des fils de cuivre couverts de gutta-percha.

§ VI. — Il est maintenant facile, après la description de mes appareils (*voyez Pl. I*), d'exposer la méthode suivie dans ces expériences, et de juger de son degré d'exactitude. Quand j'opérais sur les circuits les plus longs, tels que ceux formés par les lignes télégraphiques, je m'assurais d'abord de leur isolement, et puis je mesurais la déviation totale et la déviation fixe, d'abord dans un circuit entièrement métallique, et ensuite dans un circuit mixte dont la partie métallique était la moitié de celle qui existait dans l'expérience précédente. J'avais ainsi, avec la Table dont j'ai parlé, les intensités de deux courants produits dans deux circuits différents. Pour avoir la résistance de la couche de terre exprimée en fil du cadre, je répétais immédiatement les deux expériences décrites, de manière à obtenir, avec la même pile et avec un certain nombre de ces fils, les deux déviations que j'avais eues dans le circuit entièrement métallique et dans le circuit mixte.

Dans les circuits moins longs, formés avec le fil de cuivre couvert de gutta-percha, j'avais toujours le rhéostat dans le circuit, et un certain nombre des 50 fils du cadre, de manière à n'avoir jamais, avec 1 élément de Bunsen, une déviation fixe plus grande que 30 degrés. La résistance des différentes couches de terre était donnée par les nombres des fils du cadre ou des tours du rhéostat, que je devais augmenter ou diminuer pour faire équilibre à cette résistance.

§ VII. — Pour achever ce qui regarde la description de ma méthode, j'ai encore à décrire la manière que j'ai em-

ployée pour me mettre à l'abri des courants électriques développés par les lames de cuivre qui plongent dans l'eau pour former les extrémités du circuit mixte. Afin de détruire, autant que possible, les hétérogénéités apparentes de ces lames, je laisse, en les coupant, un ruban de cuivre suffisamment long pour sortir de la couche terrestre où elles sont plongées, afin d'établir ainsi les communications sans soudure. Je ne fais jamais frotter ces lames avec du sable, je me contente de les frotter de temps en temps avec un drap propre.

Avec des lames de cuivre ainsi préparées, et plongées soit dans l'eau de puits, de rivière, ou dans le sol, les courants les plus forts que j'ai obtenus dans la première immersion ne sont pas allés au delà de 3 à 4 degrés de déviation totale. En général, en laissant le circuit fermé entre les lames et sans la pile, pendant un certain temps, comme je fais toujours, la déviation fixe diminue, et il arrive souvent qu'elle se réduit à une déviation fixe de $\frac{2}{10}$ ou $\frac{3}{10}$ de degré. Dans ce cas, je fais passer le courant de la pile tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, toujours en déterminant, entre une expérience et l'autre, le courant qui est produit par les lames seules. Dans ces conditions, les déviations totales qu'on obtient avec le courant de la pile dans les deux sens, sont, ou les mêmes, ou très-peu différentes, comme on le verra par la suite. Dans les cas où la déviation fixe entre les lames persiste de $\frac{1}{2}$ degré ou davantage, j'opère de la manière suivante : je fais passer dans le circuit, sans y comprendre le galvanomètre, le courant de la pile ou d'une pile plus forte, dans le même sens que celui dans lequel circule le courant des lames. En tenant le circuit fermé pendant un certain temps, et en le fermant après avoir retiré la pile, et en y introduisant de nouveau le galvanomètre, on trouve presque toujours que le courant des lames est, ou réduit à zéro, ou qu'il a changé de sens. Dans ce second cas, il suffit de laisser le circuit fermé pour voir l'aiguille descendre à zéro, et re-

passer ensuite du côté opposé. Il faut fermer le circuit avec la pile au moment que l'aiguille est à zéro, et l'on conçoit comment cela peut se faire très-promptement à l'aide d'un commutateur.

§ VIII. — Il me reste à parler de l'influence des polarités secondaires qui se développent sur les lames métalliques plongées dans un liquide par le passage prolongé du courant électrique, sur la détermination du pouvoir conducteur de ce liquide. Je crois utile d'entrer dans quelques détails à ce sujet, à cause de l'application qu'on pourrait faire de mes observations aux méthodes suivies jusqu'ici pour mesurer le pouvoir conducteur.

J'ai déjà dit avoir formé une Table qui me donne les déviations totales et les déviations fixes jusqu'à 30 degrés, et les forces correspondantes du courant. En prêtant l'attention nécessaire, et répétant deux ou trois fois de suite la même expérience, en laissant toujours l'aiguille retourner parfaitement au repos, puis fermant le circuit constamment de la même manière, on ne commet pas d'erreur dans la lecture de la déviation totale, au moins dans les limites de 35 à 40 degrés, et dans les conditions précitées : cette déviation est constamment la même, si la déviation fixe n'a pas changé. La déviation totale étant toujours beaucoup plus grande que la déviation fixe, et presque double pour mon galvanomètre, la variation du courant est ainsi plus facilement découverte par la lecture de la déviation totale. Mais un autre plus grand avantage de ce procédé, est de rendre le résultat de l'expérience indépendant de l'influence des polarités secondaires.

Je rapporterai ici quelques expériences tentées sur des liquides différents, pris dans les mêmes conditions, excepté que, dans les liquides moins conducteurs, on a fait varier l'épaisseur de la couche jusqu'à obtenir, dans tous les cas, la même déviation totale. Le courant était celui de 1 élément de Bunsen, transmis dans une couche liquide ayant

nème section rectangulaire des lames de cuivre ou des ctrodes, c'est-à-dire 68 millimètres de hauteur et 69 mil-ièmes de largeur.

DÉVIATION totale.	DÉVIATION fixe.	NATURE DU CIRCUIT.
o	o	
29,50	17,90	Circuit métallique.
29,50	17,45	Dissolution saturée de sulfate de cuivre.
29,50	17,25	Dissolut. étendue de façon que le volume soit double.
29,50	17,20	Dissolut. étendue de façon que le volume soit quadruple
29,50	11,75	Eau de puits.

Ces résultats, qui varient avec la nature des lames méliques et celle des liquides, prouvent suffisamment l'er-ur que l'on commettrait en comparant par les déviations es la conductibilité d'un circuit métallique à celle d'un cuit mixte. Je dois ajouter que ces différences sont d'au-nt moins grandes, que le courant employé est plus fort. oici encore quelques expériences à ce sujet, dans les-elles, en employant toujours le même liquide, c'est-à-re la solution saturée du sulfate de cuivre, j'ai fait varier paisseur de la couche.

CIRCUIT MÉTALLIQUE.		DISSOLUT. SATURÉE DE SULFATE DE CUIVRE.	
Déviation totale.	Déviation fixe.	Déviation totale.	Déviation fixe.
o	o	o	o
30,10	18,20	30,10	17,80
37,50	22,50	37,50	22,10
42,30	25,20	42,30	24,50
48,20	28,60	48,20	28,50

La différence entre les résultats obtenus dans les deux cir-uits, métallique et mixte, diminue avec la force du cou-

rant. Les nombres donnés dans la Table précédente pou circuit liquide conduisent exactement à la loi trouvée M. Pouillet, que l'intensité varie en raison inverse d longueur de la couche, si l'on déduit les forces du cou des déviations totales, tandis qu'il n'en serait pas ains prenant les déviations fixes.

C'est en faisant varier le nombre des éléments de la p et en opérant sur un liquide peu conducteur, que ces ré tats sont encore plus évidents. J'emploie pour liquid l'eau de puits, et, en variant le nombre des élément fais varier la longueur de la couche liquide, de man à avoir toujours la même déviation totale.

NOMBRE des éléments de Bunsen.	DÉVIATION TOTALE.	DÉVIATION FIXE.
	o	o
1	29,5o	11,75
2	29,5o	15,25
4	29,5o	16,3o
6	29,5o	17,oo

Il est inutile de dire qu'en faisant avec le rhéostat va la résistance de la partie métallique du circuit, et da même temps la longueur de la couche, de sorte à avoir jours la même déviation totale, la déviation fixe aussi la même. La méthode de Wheatstone, pour détermin conductibilité des liquides, est donc, à cet égard, erreur; mais j'en crois l'application bornée à un très- nombre de cas.

La méthode de mesurer le courant par la déviation t dans les circuits mixtes, était la seule que je pouvais ployer avec confiance dans mes recherches sur la con tibilité de la terre.

§ IX. — J'ai déjà dit dans le § III, en décrivant le vanomètre employé dans mes expériences, que je poi

très-facilement apprécier des déviations à moins de $\frac{1}{10}$ de degré. Ainsi donc, toute différence dans la résistance du circuit, capable de produire un tel effet, pouvait être exactement déterminée : je puis évaluer au moins à $\frac{1}{100}$ de la résistance totale du circuit, la variation capable de produire cet effet dans l'aiguille de mon galvanomètre. Dans les circuits métalliques plus courts sur lesquels j'ai opéré, dont la résistance était égale de 20 jusqu'à 50 fils du cadre, j'ai pu parfaitement apprécier la différence de $\frac{1}{2}$ ou à peu près, de 2 tours du rhéostat, jusqu'à $\frac{1}{4}$ de fil. Dans les circuits télégraphiques plus longs, dont la résistance était égale depuis 100 jusqu'à 800 fils, la variation de résistance que je pouvais découvrir avec exactitude a varié depuis $\frac{1}{2}$ fil jusqu'à 4 fils. Je donnerai bientôt, en fil de fer et en fil de cuivre, le nombre correspondant à ces longueurs des fils de laiton.

C'est dans ces mêmes limites qu'est donc renfermée la variation de résistance ou de conductibilité des couches terrestres que j'ai pu découvrir.

§ X. — J'entrerai dans quelques détails sur la détermination de la résistance des lignes télégraphiques sur lesquelles j'ai opéré, et, dans le même temps, sur les rapports entre le pouvoir conducteur du fer, du cuivre, et de quelques liquides. Cette étude, qui devait nécessairement précéder mes recherches sur la conductibilité de la terre, aura aussi quelque intérêt pour avoir été tentée sur des grandes longueurs de fils métalliques, et donnera en même temps une idée plus exacte de ma méthode.

Tout l'essentiel, pour la bonne réussite de ces expériences, est l'isolement des fils, et c'est à cela que je suis parvenu de la manière décrite § 1er. On conçoit facilement que le fil de fer suspendu sur les poteaux et s'appuyant sur une grosse lame de gutta-percha, appliquée sur une pièce de porcelaine dure, doit être dans un air sec, au moins aussi bien isolé que le fil de cuivre couvert de gutta-percha. Les longueurs formées d'un double fil de fer, sur lesquelles

j'ai opéré, étaient les suivantes : 40 396 mètres d
Pontedera ; 94 373 mètres de Pise à Empoli ; 155 205
à Florence. La mesure de ces longueurs avait été co
de la très-petite fraction (à peu près $\frac{1}{500}$), dépendai
la courbe du fil suspendu sur les poteaux. Le fil
employé dans la construction de nos lignes télégrap
provenait de la même manufacture anglaise, et le po
1654 mètres de ce fil, qui est la longueur du mille to
était de $95^{kil},200$. Les petites différences, tantôt en
tantôt en moins, rencontrées dans le poids de ce fil, ne
vaient avoir une influence appréciable sur la mesu
son diamètre. L'isolement des lignes télégraphiques
jusqu'à 94 kilomètres, était aussi parfait que pos
comme je m'en suis assuré par la méthode déjà décri
même qu'en mesurant le courant près de la pile et
moitié du circuit. Le circuit de 155 kilomètres, de
Florence, était presque aussi bien isolé. Les résulta
je vais décrire sur cette ligne ont été obtenus lors
avait à peine $\frac{1}{2}$ degré de déviation totale avec 6 élém
le circuit étant ouvert à sa moitié. Dans ce cas, je n'
pu distinguer une différence entre le courant mesuré à
la pile étant, ou près du galvanomètre, ou à la plus g
distance possible. Je ne donnerai que les résultats de
ques expériences dont l'accord est parfait avec celles
ne donne pas pour abréger cette description.

...RE DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE à Pise.	NOMBRE DES FILS du cadre d'une résistance égale à celle de 40 396 mètres de fil de fer.	LONGUEUR du fil de fer pour un fil du cadre
Circuit de Pise à Pontedera de 40 396 mètres.			
·. De 9 heures avant	° °		m
. après midi. (1850).	+9,4 à 12 C	236	171
e *Id.*.	+8,4 à 12 C	234	172
décembre..... ..	+2,60	220	183
décembre...	+1,00	225	179
janvier (1851).....	+4,00	223	180
Circuit de Pise à Empoli de 91 373 mètres.			
e dans le jour.. .	+9,4 à 12 C.	537	176
e dans le jour... .	+8,4 à 12 C.	530	171
lécembre.....	+2,60	533	177
anvier (1851).....	+4,00	523	180
Circuit de Pise à Florence de 155 203 mètres.			
lans le jour (1851).	+8,5 à 10 C.	886	175
lans la nuit.....	+4,0	864	179

nce de la température sur la conductibilité du fil
lique la différence qui existe entre les nombres
nnés. Le coefficient d'augmentation dans la résis-
:r pour les limites de températures données serait
our 1 degré, nombre très-peu différent de celui
M. Edmond Becquerel.

ɔrterai encore une expérience faite, le 1er sep-
5o, à la température de + 28 degrés centigrades
ıe de 40 396 mètres. Dans cette circonstance.
mètres de fil de fer, pour 1 fil du cadre. Je n'ai
de faire remarquer que dans toutes ces expé-

riences, le cadre de résistance a été presque toujours à la même température, c'est-à-dire de + 8 à 11 degrés centigrades. Le coefficient d'augmentation de la résistance, déduit de cette dernière expérience comparée aux précédentes, serait 0,00437.

Avec un galvanomètre différentiel, j'ai mesuré la résistance du fil de fer des lignes télégraphiques sur une longueur de $526^m,10$ qui était parfaitement isolée à + 11 degrés centigrades. Cette longueur faisait équilibre à 51 tours du rhéostat, ce qui donne 175 mètres du fil de fer pour 1 du cadre. Le nombre ainsi obtenu me semble prouver l'exactitude des résultats trouvés sur les longues lignes télégraphiques.

J'ai mesuré de la même manière la résistance du fil de cuivre couvert de gutta-percha, en opérant sur 2 kilomètres de ce fil, qui étaient approximativement du même diamètre comme je l'avais pu déduire par le poids d'une même longueur prise en différentes parties des 2 kilomètres. J'ai trouvé qu'une longueur des 166 mètres de fil de cuivre à + 12 degrés centigrades présentait la même résistance que 1 fil du cadre. Dans une expérience avec le galvanomètre différentiel, j'ai mis directement en équilibre le circuit de $526^m,10$ de fil de fer avec le fil de cuivre. La longueur de ce second fil, faisant équilibre avec celle du premier, était de 498 mètres. Je ferai remarquer que la longueur des 4 mètres de fil, d'un côté ou de l'autre du circuit, produisait dans la position de l'aiguille une différence parfaitement reconnaissable.

Malgré les petites irrégularités qui devaient inévitablement exister dans le diamètre de ces fils, j'ai cru qu'en opérant sur de si grandes longueurs, l'effet de ces irrégularités aurait dû se neutraliser de manière à pouvoir déterminer avec assez d'exactitude le diamètre de ces fils par le poids d'un cylindre de fer ou de cuivre dont j'avais la longueur. La densité du fil de fer était 7,530; celle du cuivre, 8,933.

diamètre du fil de fer a été trouvé $0^m,0031$, et celui du de cuivre $0^m,00132$.

En prenant la longueur de 175 mètres de fil de fer, égale résistance à celle de 166 mètres de fil de cuivre, à la mpérature de + 10 degrés centigrades, le pouvoir con- cteur du fer serait à celui du cuivre comme 1 : 5,152.

Ce rapport est un peu plus petit que celui trouvé par . Pouillet. Ce n'est que par des expériences tentées sur autres métaux qu'on pourrait décider sur lequel de ces ux métaux la différence entre mes résultats et ceux de . Pouillet doit se porter.

Je donnerai, enfin, le pouvoir conducteur de l'eau de la er et d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre prises la température de + 11 degrés centigrades. La densité de eau de la mer était 1,025; les liquides étaient contenus ns un canal rectangulaire en bois, long de $4^m,30$, et yant partout la même largeur de 69 millimètres. Le cou- nt était transmis dans les liquides par des lames de cuivre yant la même largeur que le canal; la hauteur de la couche ait de 68 millimètres. Le volume de la couche liquide à se rectangulaire étant transformé en celui d'un cylindre la même longueur, ce qui donnait 76 millimètres de diamètre, j'ai ainsi comparé la conductibilité de ce liquide à celle du fer. Après m'être assuré qu'il n'y avait pas de courant entre les lames, j'ai trouvé par la même déviation totale, et en faisant varier la longueur de la couche liquide et le nombre des fils du cadre, que 4 mètres de la couche décrite faisaient équilibre à $79\frac{1}{2}$ fils : ce qui donne la con- ductibilité du fer 2134172 fois plus grande de celle de l'eau de la mer à $+ 11^{0c},50$. A la même température, cette longueur de 4 mètres d'eau de la mer fait équilibre à une couche d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre, ayant la même section et $3^m,55$ de longueur. La conductibilité du fer serait ainsi 2400338 fois plus grande que celle du

sulfate de cuivre. Ce nombre coïncide avec celui que j'ai obtenu directement avec le cadre de résistance.

Je donnerai encore les pouvoirs conducteurs des dissolutions de sulfate de cuivre étendue d'eau à la même température, rapportés à celui de la solution saturée :

Dissolution saturée de sulfate de cuivre.....	1,0
Dissolut. saturée de façon à occuper un volume double.	0,6
Dissolut. saturée de façon à occuper un vol. quadruple.	0,4

Ces nombres, quoique peu différents de ceux trouvés par MM. Pouillet et Edmond Becquerel, indiquent pourtant une différence qui est toujours dans le même sens, et d'autant plus grande, que les liquides sur lesquels on opère sont plus mauvais conducteurs. J'ai déjà montré, dans le § VIII, que cela était dû à l'influence des polarités secondaires, suivant qu'on mesurait le courant par la déviation fixe, ou par la déviation totale.

Ces différences doivent principalement se montrer pour le pouvoir conducteur de l'eau presque pure. Je ne donnerai pas ici avec une entière confiance le pouvoir conducteur que j'ai trouvé dans l'eau de source ou de rivière presque pure, exprimé en rapport de celui de l'eau de la mer, ou de la dissolution saturée de sulfate de cuivre ; car de très-petites différences dans les premiers liquides, qu'il est impossible de préciser et de reproduire exactement, font varier assez notablement ces pouvoirs. Mais je puis affirmer, sans crainte d'erreur, que les pouvoirs conducteurs de l'eau de mer et de la dissolution de sulfate de cuivre ne sont pas 100 à 120 fois plus grands que celui de l'eau de source, ou d'une rivière contenant à peine quelques traces de carbonate de chaux et prises à la température de + 9°,50.

§ XI. — Il n'est pas difficile de démontrer par l'expérience que les matériaux qui composent la couche terrestre jusqu'à la profondeur où les extrémités du circuit voltaïqu

peuvent être plongées, doivent leur pouvoir conducteur à l'eau et aux sels qui y sont dissous, et dont ces matériaux sont plus ou moins imbibés. J'ai pris du sable, après l'avoir complétement privé d'eau, et j'en ai formé, dans un canal en bois, une couche à base rectangulaire, qui était haute de 110 millimètres et large de 70 millimètres. J'ai fait passer le courant d'une pile de 4 éléments Bunsen à travers un galvanomètre à système astatique très-sensible et une couche de 10 millimètres d'épaisseur de cette matière; les extrémités métalliques plongées dans le sable étaient des lames de cuivre ou de zinc amalgamé, ayant la même section que le canal. En tenant le sable et le galvanomètre parfaitement isolés, on n'obtient aucune déviation dans l'aiguille; mais en laissant le circuit fermé, après quelques heures la déviation commence et va toujours en augmentant, de manière à pouvoir s'obtenir même à travers une couche de $0^m,50$ à 1 mètre d'épaisseur. La conductibilité ainsi acquise par le sable est due à la très-petite quantité de l'eau absorbée par l'air, et qui ne s'élève pas, dans ce cas, à $\frac{1}{100}$ du poids du sable. L'argile et la chaux, privées complétement d'eau, donnent les mêmes effets. En opérant également sur des couches de grès et de marbre de Carrare de $0^m,50$ à 1 mètre d'épaisseur, le passage du courant n'a lieu que lorsque les extrémités métalliques du circuit plongent dans l'eau contenue dans des petites cavités pratiquées dans ces matières : le grès et les pierres arénaires conduisent beaucoup mieux que le marbre, mais toujours moins que les argiles et le sable.

Afin de se faire une idée, qui ne soit pas trop éloignée de la vérité, sur le pouvoir conducteur de ces substances qui composent la croûte terrestre, il faut choisir celles qui sont formées de la manière la plus homogène, telles que le sable et les différentes argiles. Je rapporterai d'abord quelques expériences, pour prouver comment on peut, avec une exactitude suffisante, déterminer les pouvoirs

conducteurs de ces matériaux terrestres avec la même méthode suivie pour les dissolutions salines et pour les liquides en général. J'ai rempli le canal rectangulaire, déjà décrit, d'une argile grasse, employée à faire des briques, et bien manipulée; en secouant le canal, j'ai tâché de remplir les interruptions qui pouvaient exister dans cette couche. Cette argile contenait 23 pour 100 d'eau. Les électrodes étaient des lames de cuivre ayant la même section que le canal, c'est-à-dire 70 millimètres de largeur et 110 millimètres de hauteur. Voici une première expérience qui prouve comment on peut appliquer à l'étude du pouvoir conducteur de ces matières terreuses la méthode déduite par la théorie de Ohm, et par les expériences de M. Pouillet. Évidemment, pour des matières qui sont douées d'une si grande résistance, l'influence de la résistance de la pile et du fil du galvanomètre est sensiblement nulle.

NOMBRE des éléments de Bunsen.	ÉPAISSEUR DE LA COUCHE.	DÉVIATION TOTALE.
	m	o
1	0,100	17,20
2	0,200	17,20
3	0,300	17,20
4	0,400	17,20
5	0,500	17,20
10	1,000	17,20

En réfléchissant à la grande augmentation de conductibilité qui est communiquée à l'eau par de très-petites quantités de matières salines, on peut s'expliquer les différences qui existent dans le pouvoir conducteur du sable, des argiles d'alluvion et de l'argile grasse, quoique ces matières soient prises avec la même quantité d'eau pour 100 de leur poids. Une autre cause de ces différences consiste dans la densité très-inégale de ces matières, ce qui fait que la quantité totale de l'eau contenue dans la couche traversée par le courant varie avec cette densité.

Je donnerai ici les longueurs des couches des différentes matières qui composent la couche superficielle de la terre, avec lesquelles, toutes les autres circonstances étant les mêmes, on a la même déviation totale, et qui expriment, par conséquent, les rapports de leurs pouvoirs conducteurs avec celui de l'eau de source pris pour unité. Le courant, dans ces expériences, était celui de 10 éléments de Bunsen; et les nombres rapportés dans le tableau suivant ont été obtenus en faisant varier de quelques millimètres en plus et en moins les longueurs des couches de ces différentes matières, jusqu'à obtenir la même déviation totale.

Il est évident que les nombres obtenus sur le sable et sur certaines argiles, qui n'ont pas une composition homogène, et qui se laissent comprimer très-facilement, ne peuvent être qu'approximativement vrais.

NOM DE LA SUBSTANCE.	ÉPAISSEUR de la couche.	POUVOIR conducteur.
	m	
Eau de source à + 14°,60 centigrades.....	1,208	1,000
Argile grasse (25 pour 100 d'eau).....	1,096	0,907
Argile grasse (18, pour 100).....	0,966	0,799
Argile légère d'alluvion (8 à 10 pour 100) [*]..	0,145	0,120
Terre cultivée à blé (10 à 12 à 15 p. 100 d'eau)..	0,152	0,125
Idem prise sur le sommet d'une montagne.	0,125	0,103
Sable à gros grain (5 pour 100 d'eau).....	0,032	0,026

[*] Ces quantités d'eau ont été déterminées dans les mois d'octobre et de nov. 1850

La densité des argiles grasses étant presque double de celle des argiles légères (1172 : 642), on voit par ces nombres que le pouvoir conducteur des argiles varie approximativement avec la quantité d'eau de la couche.

D'après un grand nombre d'expériences, la résistance d'une couche d'eau de source ou de rivière contenant à peine quelques traces de carbonate de chaux, ayant 100 mil-

limètres d'épaisseur, et la hauteur et la largeur que j'ai déjà données, en décrivant le canal en bois qui contenait cette couche, est égale à 148 fils du cadre à + 9°,50 centigrades, et à 132 fils à la température de + 15°,20.

En augmentant la quantité d'eau contenue dans les matières terreuses décrites jusqu'à 25 pour 100, le pouvoir conducteur augmente aussi proportionnellement à l'eau. Pour le sable qui rejette l'eau au-dessus de ce nombre, il n'y a plus d'augmentation dans son pouvoir conducteur, qui reste toujours très-éloigné de celui de l'eau. Pour les argiles légères, le pouvoir conducteur augmente jusqu'à 70 ou 75 pour 100 de leur poids d'eau, et, à ce point, il est égal à celui de l'eau. Pour les argiles grasses, le pouvoir conducteur, à 25 ou 30 pour 100 d'eau, atteint le même nombre que l'eau.

Les expériences rapportées sur le pouvoir conducteur des matières terreuses, malgré leur inévitable imperfection, suffisent pour prouver que ce pouvoir est dû à l'eau tenant en dissolution des quantités très-petites de substances salines, et répandue sur des particules solides de matières isolantes, séparées entre elles par des intervalles plus ou moins grands, ce qui forme des couches d'une conductibilité discontinue en contact des électrodes.

§ XII. — Lorsqu'on compare l'intensité du courant obtenu avec la même pile et les mêmes électrodes à travers une couche de sable, d'argile ou d'eau, d'une épaisseur donnée, les différences d'intensité qu'on trouve, suivant que cette couche fait partie d'une couche terrestre, ou qu'elle est contenue dans un canal isolé, et qui résument en quelque sorte le phénomène de la conductibilité de la terre, sont les suivantes :

1°. L'intensité du courant obtenu dans la couche qui fait partie de la couche terrestre est, en général, plus grande que celle qu'on obtient dans la même couche isolée ;

2°. Cette différence augmente à mesure que la longueur de la couche ainsi comparée devient plus grande;

3°. Au contraire, cette différence diminue, jusqu'à devenir nulle, à mesure qu'on fait diminuer l'épaisseur de la couche considérée dans les deux cas : il est évident que l'épaisseur à laquelle cette différence devient nulle est d'autant plus grande, que la conductibilité de la matière de la couche est meilleure;

4°. L'étendue des électrodes, et la bonne conductibilité du corps qu'on met immédiatement en contact des électrodes et de la couche terrestre interposée, influent dans le même sens que la bonne conductibilité de la couche entière.

Il suffit de réfléchir un instant sur les conditions générales dans lesquelles on se met lorsqu'on étudie la conductibilité de la terre, et aux résultats que j'ai rapportés et que je prouverai bientôt avec toute l'exactitude, pour acquérir la conviction que la loi très-connue de l'intensité du courant, proportionnelle à la section du conducteur et en raison inverse de sa longueur, n'est pas applicable au cas de la terre. La propagation du courant dans la terre a lieu en plongeant les deux électrodes de la pile dans une matière très-peu conductrice, disposée en une couche d'une section très-étendue et presque infinie relativement à celle des électrodes. Ce cas de propagation ressemble à celui que tous les physiciens ont observé bien des fois, en faisant plonger les deux rhéophores de la pile dans une grande masse liquide, et que j'ai étudié dans un Mémoire inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 1837, malheureusement sans connaître suffisamment les recherches de M. Pouillet et la théorie de Ohm.

La propagation du courant dans un plan indéfini et dans un disque a été étudiée analytiquement en Allemagne par MM. Kirchkoff et Smaasen (1), et, à peu près dans le même

(1) *Annales de Poggendorff*, tomes LXIV et LXIX.

cielle de la terre, et qu'on remplit ou d'eau pure, ou de sable mouillé avec de l'eau de la mer. Avec ce procédé, que je décrirai avec plus de détails, et qui diminue notablement la résistance des couches terrestres, on parvient aussi à des résultats parfaitement constants. Voici les nombres obtenus en opérant sur différentes longueurs de deux terrains argileux : l'un, A, contenant 18 pour 100 d'eau, et l'autre, B, beaucoup plus humide, avec 25 à 28 pour 100 d'eau. Les électrodes étaient les mêmes lames en cuivre déjà décrites, plongées dans la dissolution de sulfate de cuivre contenue dans des porcelaines carrées mises dans des trous remplis d'eau.

LONGUEUR DE LA COUCHE.	RÉSISTANCE DU TERRAIN A.	RÉSISTANCE DU TERRAIN B.
m		
0,50	68	38
1,00	74	42
5,00	97	50
10,00	102	56
20,00	109	56
50,00	123	59

On voit, dans ces deux exemples choisis parmi un grand nombre, que je crois inutile de rapporter, la résistance de la couche terrestre successivement ajoutée, diminuer très-rapidement, et plus dans les bons que dans les mauvais conducteurs. Ainsi, dans les terrains moins humides, la résistance du premier mètre, qui est égale à 74 fils, devient successivement 4, 1, $\frac{1}{2}$ au moins très-approximativement ; et pour les terrains plus humides, ces nombres sont 42, 2, 1, $\frac{1}{10}$.

Afin de mettre encore plus en évidence la différence de conductibilité d'une certaine couche de terre traversée par le courant, suivant l'étendue de la couche à laquelle elle appartient, je rapporterai les résultats obtenus, en répétant

sur la pente et sur les sommets des montagnes ces mêmes expériences faites dans les plaines.

J'ai expérimenté sur une montagne, près de Pise, qui est à 433 mètres au-dessus de la maison de campagne que j'habite. Le terrain du sommet de cette montagne est, pour 1 à 1 $\frac{1}{2}$ mètre d'épaisseur, une argile semée à blé, et cultivée depuis longtemps, contenant 15 pour 100 d'eau. Le plateau sur lequel j'ai fait les expériences est une surface de 80 à 100 mètres de longueur, et de 15 à 20 mètres de largeur; la pente est cultivée à gradins, ou *ciglioni*. Les électrodes étaient les mêmes lames de cuivre déjà décrites, plongées dans la dissolution de sulfate de cuivre contenue dans des cylindres de porcelaine enterrés dans des trous remplis de sable mouillé avec une certaine quantité d'eau de la mer. Voici les nombres obtenus :

Longueur de la couche.	Résistance.
1^m	152
10	222
50	531
100	849

Évidemment, les résistances ainsi trouvées sont beaucoup plus grandes que celles qu'on trouve en se mettant exactement dans les mêmes conditions dans les plaines. En outre, l'augmentation de la résistance, que je montrerai par la suite être nulle ou presque nulle, depuis 10 à 20, à 50 mètres, jusqu'à plusieurs kilomètres, suit une loi très-différente dans la couche du sommet de la montagne.

Un autre résultat, qui mérite d'être rapporté, est celui de la diminution dans la résistance de la couche à mesure qu'on descend avec un des électrodes sur la pente de la montagne, tout en augmentant la longueur de cette couche. Ainsi du sommet à 200 mètres en dessous, la résistance de la couche est 738. Du haut de la montagne à sa base, à la distance de 1353 mètres, la résistance n'est plus que 210 Enfin, en tenant les deux électrodes plongés toujours de

la même manière dans la couche superficielle du même terrain, mais sur les sommets de deux monticules élevés de 40 à 50 mètres sur la montagne dont j'ai parlé, la résistance de la couche n'est que 653 à la distance de 430 mètres, c'est-à-dire plus petite qu'à une distance beaucoup moindre prise sur le même sommet d'un de ces monticules. J'ai vérifié ces mêmes résultats dans d'autres localités, et en choisissant toujours des terrains en contact des électrodes qui contenaient la même quantité d'eau, et qui avaient toutes les apparences d'une composition semblable.

§ XIII. — C'est en comparant la résistance d'une couche terrestre, d'une longueur donnée, et en faisant varier la profondeur à laquelle les électrodes sont plongés, qu'on parvient à démontrer, d'une manière très-évidente, que la résistance de la couche diminue à mesure qu'on augmente sa profondeur : cette influence de la profondeur est d'autant plus marquée, que la conductibilité de la couche est plus mauvaise et sa longueur plus grande. Une conséquence semblable se déduit de la comparaison de la résistance d'une certaine couche prise sur une plaine à celle d'une couche du même terrain, et ayant horizontalement la même longueur, mais formant la base d'une montagne.

Il m'est impossible de rapporter ici toutes les expériences que j'ai faites pour vérifier ces résultats dans les différentes conditions et conformations du terrain. La condition essentielle à satisfaire pour obtenir des résultats comparables, est celle d'avoir les deux électrodes plongés dans un terrain homogène autant que possible, et qui ait, surtout à ses extrémités, la même conductibilité. Au défaut de cela, je fais plonger les électrodes ou dans l'eau de source, ou dans le sable mouillé d'eau de la mer, ou dans la dissolution de sulfate de cuivre, de la manière déjà décrite. Avec ce procédé, la résistance de la couche diminue considérablement, et les différences dans la conductibilité propre du terrain, qui doit être toujours de la même nature, n'ont plus une grande influence sur les résultats.

Voici les nombres trouvés en opérant dans un banc d'argile légère très-étendu, ayant une composition assez homogène, même à de grandes profondeurs. La quantité d'eau pour 100, dans les couches qui avaient $0^m,25$, 1 et 2 mètres de profondeur, étaient 13, 18,5, 20. La résistance d'une couche de 10 mètres de longueur était égale à 388 à $0^m,25$; à 320 à 1 mètre; à 144 à 2 mètres de profondeur.

Dans une couche de terrain argileux, ayant 15 pour 100 d'eau à la surface et 17 mètres à $1^m,20$ de profondeur, la résistance avec les mêmes électrodes, à la distance de 100 mètres, a été 390 à 400 pour la surface, et 198 à $1^m,20$ de profondeur.

Ces résultats se vérifient de la même manière, en faisant diminuer la résistance de la couche avec l'usage de la dissolution de sulfate de cuivre en contact des électrodes. Le terrain soumis à l'expérience était une argile cultivée, contenant 19 pour 100 d'eau à la surface, et 21 à 2 mètres de profondeur; la distance entre les électrodes était de 145 mètres.

Profondeur de la couche.	Résistance.
m	
0,100	91
0,250	83
1,000	74
2,000	70

J'ai obtenu des résultats encore plus frappants sur ce même sujet, en opérant dans une couche de sable au bord de la mer, et à 60 ou 80 mètres de l'eau. Les électrodes étaient des lames de cuivre qui avaient 1 décimètre de largeur et $0^m,15$ de hauteur. La quantité d'eau pour 100 était 4, 5 à $0^m,20$ de la surface, 7 dans la couche à $0^m,50$ de profondeur, et 8 à 10 à 1 mètre. L'eau qu'on trouve à cette profondeur, dans le sable près de la mer, n'a aucune saveur d'eau salée, et est semblable à celle des puits de la côte. La résistance de la première couche était 630: celle

de la seconde, 356; et 77 celle de la couche plus profo
La distance entre les électrodes a varié dans ces e
riences depuis 10 mètres jusqu'à 8 kilomètres. Et dan
autre paragraphe, j'exposerai les résultats relatifs à
différentes distances.

Évidemment cette diminution trouvée dans la résist
d'une couche de terre, en tenant les mêmes électr
plongés à des profondeurs différentes, ne peut être e
quée par la plus grande conductibilité de la couche d
l'augmentation de l'eau. Dans quelques cas, la résist
de la couche superficielle a été trouvée plus grande que
d'une couche profonde, quoique la première soit natu
lement plus humide que la seconde.

L'influence de la profondeur est aussi démontrée p
résistance moindre présentée par une couche terrestre
est la base d'une montagne, relativement à une couch
même terrain et d'une longueur égale ou moindre,
prise sur la plaine.

En faisant plonger les électrodes dans la dissolutio
sulfate de cuivre contenue dans des porcelaines qui p
gent à leur tour dans des trous pratiqués à la base, e
deux côtés de la montagne déjà décrite, et à la distanc
2400 mètres, la résistance de la couche sur laquell
montagne est fondée a été trouvée à 51 fils. Ce résul
été constant en variant la position des électrodes de c
ques mètres des deux côtés de la montagne. Le terrain
deux côtés de la montagne, était de l'argile cultivée, a
remment de la même nature, et contenant 12 à 13 pour
d'eau. En opérant de la même manière sur les champs
plaine, des deux côtés de la montagne, et sur des cou
de terrain de la même nature et également humide, le
sistances trouvées pour des couches d'une longueur moi
que celle rapportée dans l'expérience précédente, c'e
dire de 320, à 1 000, à 1 200 mètres, ont varié de 60 à

Une expérience, tentée sur une couche qui était la

eaucoup moins élevé, et qui n'avait que
geur, m'a prouvé qu'une hauteur de ter-
ectrodes, bien plus petite que celle de la
, était suffisante pour diminuer notable-
e de la couche.

expériences sur le passage du courant à
gnes, je dois faire remarquer que la ré-
uche terrestre augmente notablement si,
plonger les électrodes dans la couche su-
laine des deux côtes, on les rapproche en
r la même couche qui commence à se

quelque intérêt de noter que tandis que
l nombre des expériences faites en tenant
is la dissolution de sulfate de cuivre, on
courant entre les électrodes; ce courant
nt, de 2 à 3 degrés, à la première im-
le terrain où plongent les deux élec-
deux côtés d'une montagne. Ce courant
asser le courant de la pile de la manière
VII.

s rapportées suffisent pour démontrer la
te entre la résistance d'une couche ter-
ne certaine conductibilité, et son étendue
sens.

passerai maintenant à l'étude de l'in-
due des électrodes et de la conductibi-
qui leur est en contact sur la résistance
restre. En admettant, comme on l'a fait
acilement, que la loi de la résistance en
la section du conducteur pouvait s'ap-
pagation du courant électrique dans la
lterait que l'influence de l'étendue des
ouvoir conducteur de la matière dans la-
ngés, ne devrait pas exister. Si cette loi

contenait l'explication des phénomènes que j'ai ét
on n'aurait retrouvé non plus l'influence de la prof
de la couche et de son étendue variable, suivant l
formation du sol.

J'ignore si la loi de la section, généralement adr
démontrée par les expériences rigoureuses de M. Po
a été étendue à des couches liquides de très-grandes
sions. D'après quelques expériences, qui mériteraie
tainement d'être répétées et variées, je serais porté à
que, pour des couches de $0^m,50$ à 1 mètre carré de s
la loi ne serait plus qu'approximativement vraie,
l'influence de la section, ou de l'étendue des élec
irait toujours en diminuant.

Certainement cette loi est modifiée, dans ce sen
le cas de la propagation du courant dans la terre.
bornerai à rapporter un très-petit nombre d'expé
suffisantes à prouver que la résistance d'une couch
restre ne varie pas dans le rapport connu avec la
des électrodes. Au lieu de cela on trouve, lorsque l
trodes plongent dans une couche terrestre, une lim
est plus ou moins éloignée, suivant la conductibi
terrain, au delà de laquelle l'influence de l'augme
de la surface des électrodes est entièrement nulle. V
résultats de deux expériences faites dans des conditi
sol très-différentes :

COUCHE D'ARGILE D'ALLUVION de 1 mètre d'épaisseur.		COUCHE DE 145 MÈTRES DE LONGUEUR, formée de terre et de l'eau de deux puits.	
Étendue des électrodes.	Résistance	Étendue des électrodes plongés dans l'eau de deux puits à la distance de 145 mètres.	Résistance.
mc		mc	
0,0120	174	0,0140	44
0,0425	140	0,0460	33 1/2
0,1600	81	0,2500	11 1/2
0,2500	47	0,5280	11 1/2
0,3250	31	"	"

Dans l'eau de la mer, et en tenant les électrodes plongés
15 ou 30 mètres de la côte, le courant avait la même
ensité en changeant l'étendue des électrodes depuis
',0160 jusqu'à $0^{mc},528$.

Voici, enfin, les nombres obtenus en employant pour
ctrodes des fils de cuivre qui avaient 1 $\frac{1}{2}$ millimètre de
mètre et 18 à 20 millimètres de hauteur.

)ans l'eau d'une rivière comme dans deux puits, à la
ance de 100 à 140 mètres, la résistance était 351 ; dans
u de la mer, pour des distances qui ont varié depuis
ètre jusqu'à plusieurs kilomètres, la résistance était
. En faisant plonger ces mêmes électrodes dans une
che d'argile d'alluvion, à $0^{m},30$ de la surface et à la
ance de 1 à 2 mètres, la résistance de la couche était au
ns de 1050 à 1100 fils.

l suffit de réfléchir aux petites différences produites
s l'intensité du courant transmis à travers une couche
erre, en faisant plonger les électrodes dans l'eau des
ts, suivant leur étendue, pour comprendre comment,
s des circuits mixtes très-longs, et par conséquent
ne très-grande résistance, ces variations d'étendue n'ont
un effet sensible sur le galvanomètre, comme il est

arrivé à M. Breguet dans ses expériences sur la ligne t
graphique entre Paris et Rouen. Je donnerai les nom
obtenus en faisant varier l'étendue des électrodes qui pl
gent dans les puits pour compléter le circuit entre Pis
Florence, et en employant la boussole des sinus.

Électrodes.	Intensité du cou
Fil de cuivre de 1 $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre et de $0^{m},50$ de hauteur.....	0,5807
Lame de $0^{mc},0400$.....	0,6494
Lame de $0^{mc},2500$.....	0,6594
Lame de $0^{mc},2500$ au fond des puits.....	0,6820
Lame de $0^{mc},3250$.....	0,6820

Dans le plus grand nombre des expériences rappor
dans ce paragraphe, les électrodes étaient plongés à la s
face de l'eau; en disposant les expériences de manièr
pouvoir les plonger davantage sans en augmenter la s
face, comme on fait très-bien en ayant les fils couvert
gutta-percha, on obtient toujours une augmentation d
l'intensité du courant. Cette augmentation, comme c
due à l'étendue variable des électrodes, cesse d'être s
sible dans les circuits très-longs et très-résistants.

C'est surtout en entourant avec un corps bon conduct
les électrodes qui plongent dans la terre, qu'on parvien
diminuer notablement la résistance de la couche. C
justement dans le cas des électrodes qui plongent dans l'
des puits, que j'ai étudié pour la première fois la pro
gation du courant électrique dans la terre.

Avant de rapporter les expériences principales que
tentées sur ce sujet, je dois rappeler que, si au lieu de
difier la condition des électrodes de la manière décrit
opérant dans une couche terrestre, on le fait sur
couche contenue dans un canal isolé, on ne trouve pa
différences. Ainsi, dans le canal en bois que j'ai décrit d
le § XI, je trouve à mon galvanomètre le même coura
en tenant les électrodes plongés à 4 mètres de distan

ou dans l'eau de source qui remplit ce canal, ou dans la dissolution de sulfate de cuivre contenue dans des récipients de porcelaine ou d'argile, tels que ceux de la pile de Grove, plongés dans cette eau. Il n'est pas nécessaire de faire remarquer que, si l'on n'opère pas rapidement, ou si l'on expérimente sur des couches liquides d'une très-petite longueur, la conductibilité augmente rapidement par les petites quantités de sulfate qui viennent se mêler à l'eau. En substituant des couches de sable ou d'argile à l'eau, j'ai obtenu le même résultat.

Voici maintenant les nombres trouvés en opérant sur une couche d'un terrain argileux contenant 15 à 16 pour 100 d'eau, et en tenant les électrodes à la distance de 88 mètres.

Nom de la substance qui entoure les électrodes.	Résistance.
Le terrain même de la couche.....	374 à 380
Dissolution saturée de sulfate de cuivre contenue dans des cylindres de porcelaine plongés dans le sable contenant 20 p. 100 d'eau de la mer, mis dans des trous de $0^m,100$ de diamètre...	60 à 64
Eau de source dans des trous semblables.....	128 à 132

Je rapporterai encore les nombres de quelques autres expériences tentées sur une couche de sable très-étendue, au bord de la mer.

La résistance de la couche superficielle, contenant 4 à 5 pour 100 d'eau douce, égale approximativement à 700 fils, est réduite à 72, mettant autour des électrodes une couche de quelques centimètres de sable mouillé avec 20 pour 100 d'eau de la mer.

La résistance de la couche de sable, qui est, à $0^m,50$ de la surface, égale à 350 fils, devient de 12 à 13 en mettant autour des électrodes le sable mouillé d'eau de la mer. La résistance d'une couche de sable mouillé avec 20 ou 22 pour 100 d'eau de la mer, telle que celle qui est au bord de

l'eau, égale à environ 12 fils, est réduite à 4 lorsqu'on fait plonger les électrodes dans les porcelaines remplies de la dissolution de sulfate de cuivre. Enfin, la résistance de la couche formée de l'eau des puits et de la couche de terre interposée, qui est égale à 10 ou 12 fils, est réduite à 8 en faisant dissoudre dans l'eau des puits où plongent les électrodes, qui ont dans ces expériences $0^{mc},5280$, la quantité de sel marin suffisante à donner à cette eau la même densité que celle de la mer.

Les nombres que j'ai donnés ont été obtenus sur des couches dont les longueurs ont varié de quelques mètres jusqu'à plusieurs kilomètres.

Il est donc démontré que le contact d'un liquide bon conducteur avec des électrodes qui n'ont que 110 millimètres de hauteur et 70 de largeur, produit le même effet que des surfaces métalliques, 40 ou 50 fois plus grandes, qui plongent dans l'eau des puits percés dans la même couche de sable et à quelques mètres de profondeur. On conçoit facilement qu'en opérant dans une couche de sable en contact de l'eau de la mer, les effets dus au corps bon conducteur qui entoure les électrodes doivent être plus grands que dans les plaines d'une conductibilité uniforme dans tous les sens, à cause de la très-bonne conductibilité toujours croissante des couches inférieures avec lesquelles les électrodes sont ainsi mis en meilleure communication.

§ XV. — Je dois enfin exposer les résultats des expériences tentées pour découvrir l'influence de la longueur de la couche sur l'intensité du courant électrique qui y est transmis. Je me garderai bien de décrire ici toutes les expériences que j'ai faites sur ce sujet pendant deux années entières. Quelle que puisse être l'importance des résultats auxquels je suis parvenu, il suffirait de réfléchir à toutes les difficultés que j'ai dû rencontrer afin de conserver des circuits métalliques très-longs, en bon état et parfaitement isolés pendant plusieurs jours, et dans des endroits acces-

sibles à tout le monde, pour concevoir, au moins en partie, les efforts et le temps que j'ai dû employer dans ces recherches.

Il s'agissait de découvrir quelle est la variation qui a lieu dans l'intensité d'un courant propagé par une couche terrestre, en faisant varier la longueur de cette couche, et de donner les lois de ce phénomène. Les conditions nécessaires pour bien se conduire dans ces recherches étaient : 1° d'avoir la partie métallique du circuit parfaitement isolée; 2° de ne pas avoir de courant entre les électrodes plongés dans le sol; 3° d'avoir les deux électrodes plongés dans un terrain ayant la même conductibilité; 4° d'avoir la couche entière interposée entre les électrodes de la même conductibilité.

Je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit, dans le § Ier, à propos de l'isolement du circuit métallique; dans le § VII, j'ai suffisamment expliqué les méthodes suivies pour satisfaire à la seconde condition. Quant aux deux dernières conditions, on conçoit facilement que, dans un grand nombre de cas, il est presque impossible de les réaliser; et, en effet, si j'étais sûr de l'égale conductibilité de tous les points de la couche, en opérant dans l'eau d'un canal ou d'une rivière, ou dans la mer, et même dans les bancs de sable et d'argile d'alluvion, qui sont aux bords de la mer et des rivières, je ne pouvais pas l'être dans tous les autres cas. Voici comment j'ai tâché de me rapprocher le plus possible des conditions nécessaires.

J'ai déjà montré comment, en entourant les électrodes d'un corps bon conducteur, la résistance de la couche était notablement diminuée, de sorte que, maintenant toujours les électrodes dans les mêmes conditions en contact de la dissolution de sulfate de cuivre et de sable salé, l'influence des petites différences de terrain venait à diminuer notablement. En effet, tandis que lorsque les électrodes sont plongés dans une couche d'argile ou d'autre

terrain, on trouve des différences notables en changeant de place les électrodes; ces différences sont nulles, ou très-petites, lorsque les électrodes sont dans le sable salé, ou dans la dissolution de sulfate de cuivre.

Dans les expériences où les électrodes étaient directement plongés dans le sol, je commençai, avant d'étudier l'influence de la longueur de la couche, par m'assurer si la résistance d'une couche qui avait 1 mètre d'épaisseur, et prise dans des points éloignés entre eux de 1, 2, 3 et 4 kilomètres, était la même; alors seulement je faisais varier la longueur de la couche en plongeant les électrodes dans ces mêmes points que j'avais trouvé avoir la même conductibilité. Pour des couches plus longues que 4 kilomètres, n'ayant pas de fil de cuivre pour former le circuit métallique double, je notais les nombres obtenus en changeant plusieurs fois la position des électrodes dans l'espace de quelques mètres.

J'ai cru devoir faire ces observations sur la méthode suivie dans ces expériences, afin de faire juger de la confiance qu'elles peuvent mériter, et pour éviter à ceux qui voudraient les répéter les difficultés que j'ai éprouvées la première fois que je les ai faites.

Je décrirai d'abord les résultats obtenus sur l'eau de la mer et sur les bancs de sable de la côte de la Méditerranée, de Via-Reggio à Montroni, dans les mois d'août et de septembre 1850, et dans le mois de mars 1851. J'ai opéré avec les 8 kilomètres de fil de cuivre, couvert de gutta-percha, étendu sur le banc de sable à peu près dans la direction du méridien magnétique.

Voici les résultats obtenus en faisant plonger les électrodes au fond de la mer, c'est-à-dire à 2 ou 3 mètres de la surface et à 30 ou 40 mètres du bord. En tenant les électrodes ainsi plongés dans l'eau de la mer, il y a toujours un courant entre eux de 3 ou 4 degrés, et l'aiguille n'est jamais bien fixe. En employant les grands électrodes,

ce courant est moins fort et l'aiguille cesse d'osciller. Ne pouvant pas détruire entièrement le courant entre les électrodes, je prends dans chaque expérience la déviation de l'aiguille en faisant passer le courant de la pile, tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, à travers la couche d'eau. Dans ces expériences, j'ai ajouté dans le circuit un certain nombre de fils du cadre pour rendre la déviation moins grande et convenablement lisible.

« En variant la surface des électrodes plongés dans la » mer depuis $0^{mc},0140$ jusqu'à $0^{mc},528$, et la longueur de » la couche d'eau depuis 4 à 5 mètres jusqu'à 8 kilo- » mètres, l'intensité du courant reste sensiblement la même. » La différence entre l'intensité du courant dans les cir- » cuits entièrement métalliques et dans ces mêmes circuits » augmentés d'une couche d'eau de la mer, est nulle, ou » tellement petite, qu'il est impossible de l'évaluer exacte- » ment à cause des courants électriques qui existent entre » les électrodes. »

En effet, dans quelques expériences, la déviation a été d'un à deux dixièmes de degré plus grande dans un cas que dans l'autre, et *vice versâ*.

On obtient des résultats très-exacts et constants en tenant les électrodes, qui ont 70 millimètres de largeur et 110 millimètres de hauteur, dans la dissolution saturée de sulfate de cuivre, contenue dans des cylindres de porcelaine plongés dans le sable, contenant 22 pour 100 d'eau de la mer à la distance de $1\frac{1}{2}$ à 2 mètres de l'eau. Il n'y a pas, dans ce cas, de courant entre les électrodes. En tenant les deux cylindres de porcelaine ainsi plongés dans le sable et en contact entre eux, la résistance qui est ajoutée de cette manière au circuit métallique est mesurée par 46 tours du rhéostat. En portant les deux cylindres successivement à $0^{m},50$, à 1, à 5, à 10 mètres, les déviations totales correspondantes sont les suivantes : $31^{o},75$; 31,50 ; 31,50 ; 31,40.

« La résistance de ces couches est ainsi de 3 à 4 fils; de » 10 mètres à 8 kilomètres, le courant ne varie pas d'in- » tensité, et la résistance de la couche de sable au bord de » l'eau de la mer, reste la même. »

Voici maintenant les résultats obtenus en opérant sur des couches très-étendues d'eau douce, telle qu'une rivière, un canal, ou de larges réservoirs. En employant les électrodes les plus larges, depuis $0^{mc},3250$ à $0^{mc},5280$, qui sont plongés dans l'eau à la distance la plus petite possible, comme on peut le faire avec une espèce de cadre en bois qui empêche le contact métallique, la résistance de la couche liquide, ayant de 10 à 15 millimètres d'épaisseur, peut difficilement s'évaluer avec exactitude; d'ailleurs on trouve des différences notables suivant la température de l'eau, et à cause probablement des petites quantités de matières salines qui y sont dissoutes. De l'épaisseur donnée jusqu'à $0^{m},50$, avec les électrodes de $0^{mc},5280$, il est aussi difficile de mesurer la différence ajoutée dans la résistance. En opérant toujours sur l'eau du même réservoir, la résistance de ces couches d'eau, à + 25 degrés centigrades, est égale à 20 ou 25 tours du rhéostat, tandis qu'à + 2 degrés, j'ai trouvé cette résistance plus que double, ou de 60 à 70 tours du rhéostat. En augmentant l'épaisseur de la couche jusqu'à 1 ou 2 mètres, la résistance devient de 6 à 8 fils; jusqu'à 5 ou 10 mètres, la résistance, qui paraît la même, ou très-peu différente, quelle que soit la température, augmente encore, quoique bien moins rapidement, et devient de 10 à $11\frac{1}{2}$ fils. J'ai vérifié ces résultats sur de grands réservoirs, sur un canal et sur une rivière (Serchio). De 10 mètres à 8 kilomètres, je n'ai pas trouvé de variation dans la résistance des couches d'eau comprises dans ces limites.

En employant dans ces mêmes couches d'eau les électrodes beaucoup plus étroits, on trouve que l'augmentation

de la résistance s'étend davantage qu'avec les grands électrodes; dans ce cas, la résistance ne devient constante qu'au delà de 50 à 100 mètres.

Au lieu de plonger directement les petits électrodes dans les couches superficielles de l'eau, ce qui rend très-difficile d'éviter les courants entre eux, je les fais plonger dans la dissolution de sulfate de cuivre contenue dans de petites boîtes de porcelaine que je tiens plongées au milieu du canal ou de la rivière. En tenant les deux boîtes plongées dans l'eau en contact, la résistance, relativement au circuit entièrement métallique, augmente de 170 à 180 tours du rhéostat. En éloignant les électrodes, la résistance augmente rapidement, et à $0^{m},50$ elle est égale à 49 ou 50 fils; à 1 mètre, ce nombre varie de 60 à 62; à 50 mètres, il est de 64; et, de 80 à 100 mètres, la résistance est égale à 68 fils. En partant de ces épaisseurs jusqu'à 8 kilomètres, la résistance de la couche d'eau reste invariable. Les différences que j'ai trouvées dans la résistance des couches d'eau comprises dans ces limites, ne sont pas au delà de 5 ou 6 tours du rhéostat, qu'il faut tantôt ajouter, tantôt diminuer.

Je passerai maintenant à exposer les résultats des expériences les plus nombreuses et les plus variées parmi toutes celles que j'ai tentées, et dans lesquelles je tenais les grands électrodes plongés dans des puits aux deux extrémités du circuit métallique; c'est de cette manière qu'ont été faites les expériences sur les lignes télégraphiques, et, par conséquent, sur les couches terrestres les plus longues. J'ai tâché d'abord de découvrir si, indépendamment de la distance entre les deux puits, il y avait des différences dans la résistance des couches d'eau et de terre interposées, et dans quelles limites ces différences pouvaient s'étendre.

J'ai opéré avec des électrodes, ou des lames de cuivre qui avaient de $0^{mc},3250$ à $0^{mc},5280$, plongées dans des puits dont la profondeur a varié de 10 à 15 mètres, et

contenant de 2 à 5 mètres d'eau. Ces puits étaient percés dans des terrains différents et placés, ou dans les plaines, ou au pied d'une montagne, ou des deux côtés d'une montagne. Ces expériences ont été faites dans toutes les saisons, après de longues pluies, aussi bien qu'après quelques jours d'un air sec et chaud. Je pourrais rapporter ici des centaines d'expériences, faites pendant deux années de suite, si par la constance et par l'exactitude des résultats je n'étais dispensé de le faire.

Voici le résultat général : « La résistance d'une couche » formée de l'eau de deux puits et de la terre interposée, » et dont la longueur a varié depuis 145 mètres jusqu'à » 8 kilomètres, est égale à celle de 10 à 12 fils du cadre. »

Entre ces deux nombres, qui sont les extrêmes, je pourrais en citer beaucoup d'autres qui y sont compris. Je remarquerai que les nombres plus petits correspondent aux cas dans lesquels les électrodes plongeaient tout à fait au fond de l'eau, ou bien aux expériences faites dans l'hiver, lorsque la hauteur de l'eau dans les puits était la plus grande possible.

Je noterai encore que cette résistance de 10 à 12 fils ne varie pas en ayant les électrodes plongés dans des puits séparés par des accidents de terrain très-différents. Ainsi la résistance de la couche interposée entre deux puits qui sont percés de deux côtés de la montagne déjà décrite, est de 11 fils et $\frac{2}{3}$, ou, plus exactement, de 199 tours de rhéostat. Dans une couche longue de 1500 mètres, au milieu de laquelle il y avait le lit d'une rivière, la résistance était de 11 fils.

Je ferai remarquer encore qu'en tenant les électrodes plongés dans l'eau de deux grands réservoirs, qui avaient de $1\frac{1}{2}$ à 2 mètres de profondeur, et séparés par une couche de terre de 150 mètres, la résistance était de 14 à $16\frac{1}{2}$.

Les expériences faites dans les puits de la plaine de Pise à Lucques, ont été répétées dans des puits percés dans le sa-

ble de la côte de Via-Reggio, à la distance de 200 à 250 mètres de l'eau. Les résultats ont été les mêmes, si ce n'est qu'entre deux puits éloignés de 10 à 12 mètres, la résistance n'a été trouvée que de 8 fils.

Je rappellerai enfin qu'en faisant dissoudre dans l'eau de deux puits de la plaine, une quantité de sel marin suffisante à donner à cette eau la même densité que celle de la mer, la résistance de la couche n'est plus que de 8 fils.

Je conclus donc, par les expériences rapportées jusqu'ici, que « la résistance d'une couche d'eau prise, ou dans la mer, » ou dans une rivière, ou dans un canal, ou celle d'une cou» che formée de l'eau de deux puits et de la terre inter» posée, est constante pour des longueurs qui varient dans » chaque cas depuis quelques mètres jusqu'à 8 kilomètres. » Puisque la résistance totale des circuits métalliques les plus longs n'a pas excédé, dans ces expériences, 40 à 50 fils, on peut être certain que j'aurais pu parfaitement découvrir une variation dans la résistance des couches terrestres qui aurait été égale à $\frac{1}{3}$ ou à $\frac{1}{2}$ fil, c'est-à-dire à 50 ou 60 mètres du fil de cuivre de $0^{m},00132$ de diamètre.

§ XVI. — Je décrirai maintenant les résultats obtenus en opérant sur les longues lignes télégraphiques formées avec un fil de fer isolé de la manière exposée dans le § Ier, et dont les extrémités étaient des lames de cuivre de $0^{mc},5280$ de surface, plongées dans des puits de 8 à 10 mètres de profondeur, et contenant 2 à 5 mètres d'eau. Malheureusement le plus grand nombre de ces expériences n'a pu être fait que sur la ligne la plus courte, qui était celle de Pise à Pontedera, de 20198 mètres, car c'est celle que j'ai pu plus longuement et plus facilement conserver dans un état parfait d'isolement. Je ne donnerai ici que la description de quelques-unes des expériences faites sur cette ligne, croyant inutile d'exposer les autres dont les résultats sont les mêmes.

Dans les nuits des 9, 10 et 11 décembre 1850, à + 2 à 4 degrés centigrades, la résistance du circuit métallique,

long de 40396 mètres, était égale à 224 fils : dans les mêmes circonstances, et presque au même moment, n'ayant point de courant entre les électrodes, la résistance du circuit mixte, formé de 20198 mètres de fil de fer et d'une longueur égale (1) de couche de terre, était de 120 à 120 $\frac{1}{2}$ fils. Ainsi la résistance de la couche de terre de 20198 mètres entre les deux puits de Pise et de Pontedera, était égale à 8 ou 8 $\frac{1}{2}$ fils.

Dans la nuit du 1er janvier 1851, à la température de + 4 à 6 degrés centigrades, la résistance du circuit métallique était 226, et celle du circuit mixte 121 ; ainsi la résistance de la couche de terre était de 8 fils. Parmi un grand nombre d'expériences, je n'en ai que deux dont les résultats diffèrent de ceux que j'ai rapportés d'une quantité qui mérite d'être signalée.

Dans la nuit du 16 janvier, à + 4 degrés centigrades, la résistance du circuit métallique était de 123, et celle du circuit mixte de 118 ; ce qui donne 6 $\frac{1}{2}$ pour la résistance de la couche.

Dans la journée du 23 décembre, à la température de + 8,4 à 12 degrés centigrades, la résistance du circuit métallique était de 234 et celle du circuit mixte de 126 ; ce qui donne 9 pour la résistance de la couche terrestre.

Ainsi on peut dire que la résistance d'une couche de terre de 20198 mètres, comprise entre deux puits à la profondeur de 8 à 10 mètres, est, en moyenne, égale à 8 fils du cadre.

Les circuits étaient parfaitement isolés dans ces expériences, et d'ailleurs je m'étais assuré que les déviations étaient les mêmes, en tenant la pile tantôt près du galvanomètre, tantôt à l'autre extrémité du circuit.

L'erreur qu'on pouvait commettre dans ces expériences

(1) Je n'ai pas besoin de faire remarquer que les vraies distances de terre sont un peu plus petites.

était de 1 fil pour le circuit métallique double, et à peine de $\frac{1}{2}$ fil pour le circuit mixte; et d'ailleurs il n'est pas naturel d'admettre que cette erreur ait été commise toujours dans le même sens.

On peut donc conclure que « la résistance d'une couche » de terre, à la profondeur de 8 à 10 mètres, longue de » 20198 mètres, est moindre et d'une quantité parfaite- » ment distincte pour mon galvanomètre, et presque con- » stante, de celle d'une couche de quelques mètres prise » dans les mêmes conditions et avec les mêmes électrodes. »

Si l'on se rappelle maintenant que la résistance d'une couche d'eau d'un canal, ou dans un grand réservoir, ou dans des puits de 5 à 10 mètres d'épaisseur, est égale de 10 à 11 $\frac{1}{2}$ fils, et que cette même résistance se trouve, pour une couche de terre comprise entre deux puits éloignés entre eux de 145 mètres jusqu'à 8 kilomètres, on est amené à conclure « qu'une couche de terre, prise dans ces condi- » tions, et d'une longueur variable de 145 mètres jusqu'à » 8 kilomètres, n'augmente pas la résistance de la première » couche d'eau interposée entre les électrodes et de quel- » ques mètres d'épaisseur, et qu'une longueur plus grande, » c'est-à-dire de 8 jusqu'à 20 kilomètres, diminue d'une » quantité distincte, quoique très-petite, cette première » résistance. »

Ce résultat ne pourrait être généralisé qu'à la suite d'autres expériences tentées sur des terrains pris dans des conditions différentes. Dans cette vue, je dois ajouter qu'en opérant sur une couche de terre entre Pise et Lucques, dont la longueur est de 20124 mètres, j'ai obtenu des nombres qui s'accordent parfaitement avec ceux trouvés dans les expériences rapportées entre Pise et Pontedera. Ainsi la résistance du circuit mixte de Pise à Lucques, à + 4 degrés centigrades, a été de 119 à 122 fils. N'ayant pas sur cette ligne un fil métallique double, j'applique à ce résultat les nombres trouvés entre Pise et Pontedera, et j'en déduis ainsi,

que la résistance de la couche de terre de 20 kilomètres 8 ou 10 mètres de profondeur, et en employant les gra électrodes plongés dans les puits, est égale à 7 ou 8 du cadre.

§ XVII. — Je décrirai dans ce paragraphe les résult des expériences tentées sur les lignes télégraphiques les pl longues. J'ai réuni ces expériences dans les deux tablea suivants : dans le premier, j'ai rapporté les expérienc faites avec une boussole des sinus, construite par M. Breguet et dans lesquelles j'ai employé un nombre d'éléments d Bunsen plus grand que celui dont j'ai fait usage dans les ex périences avec le galvanomètre ; dans le second tableau, j' décrit les expériences faites avec le galvanomètre dans l circonstances les plus favorables. Dans le circuit métalliqu double de 40396 mètres, ou dans le circuit mixte corres pondant, l'isolement était parfait, et dans les circuits plu longs, de 94 à 155 kilomètres, la déviation totale, obtenu au commencement des expériences, et lorsque le circui était ouvert à l'extrémité opposée à celle où était la pile n'est jamais allée, dans les moments où j'ai fait mes exp riences, au delà de 0,50 à 0,70 de degré.

Les nombres rapportés dans le tableau sont ceux obtenu ayant la pile à une des extrémités du circuit et le galvano mètre à l'autre. Dans le plus grand nombre de cas, il n' avait pas de courant entre les électrodes, et d'ailleurs, sa changer le sens de la déviation de l'aiguille, je mesurais l courant en le faisant passer tantôt dans un sens, tantôt dan l'autre, dans la couche terrestre. La moyenne, entre l deux nombres très-peu différents qu'on obtient ainsi, lor qu'il y a un courant très-petit entre les électrodes, coïncid avec la déviation trouvée dans le cas où il n'existe pas d courant entre les électrodes. Voici les deux tableaux :

Tableau N° I.

Nombre des expériences.	Nombre des éléments.	Intensité du courant dans le circuit métallique de 155 203 mètres.	Intensité du courant dans le circuit mixte, moitié fil métalliq. et moitié terre.	Rapport des courants.
1	12	0,2051	0,3974	1,937
2	12	0,1979	0,3948	1,994
3	12	0,1994	0,3760	1,885
		Circuit métalliq. de 94 373 m.		
1	6	0,1607	0,2924	1,819
2	6	0,1564	0,2896	1,851
3	10	0,2728	0,5088	1,865
4	10	0,2756	0,5000	1,814
		Circuit métalliq. de 40 396 m.		
1	6	0,3891	0,7009	1,801
2	6	0,3896	0,6999	1,796
3	4	0,2588	0,4410	1,704

Tableau N° II.

Époque de l'expérience.	Nombre des éléments.	Déviation totale	Intensité du courant.	Déviation totale.	Intensité du courant.	Rapport des courants.
Circuit métallique de 40 396 mètres.				**Circuit mixte.**		
1er 1851..	2	25°,25	1770	39°,90	3315	1,873
16.....	2	26,40	1880	42,10	3600	1,915
16.....	2	26,15	1860	41,90	3575	1,922
23.....	2	24,50	1705	38,40	3140	1,841
Circuit métallique de 94 373 mètres.				**Circuit mixte.**		
1er.....	4	22,30	1500	36,75	2945	1,963
16.....	4	22,60	1525	37,50	3030	1,986
23.....	4	19,90	1315	33,10	2545	1,935
23.....	4	20,00	1320	33,15	2550	1,931
Circuit métallique de 155 203 mètres.				**Circuit mixte.**		
1er.....	6	21,25	1420	34,50	2700	1,901
23.....	6	19,50	1280	32,00	2425	1,894
23.....	6	19,35	1270	31,90	2420	1,905

Il ne peut rester des doutes sur la conclusion qu'il fa
tirer des expériences rapportées dans les deux tableau
« En augmentant la longueur d'une couche de terre, co
» prise entre deux grands électrodes plongés dans l'eau
» puits à la profondeur de 8 à 10 mètres, depuis 20 j
» qu'à 77 kilomètres, il n'y a pas d'augmentation dans
» résistance au passage du courant électrique; au contrai
» cette résistance se trouve diminuée d'une quantité qu
» quoique très-petite, est néanmoins bien distincte, et
» rapport avec l'allongement de la couche. »

J'ajouterai encore à ce sujet qu'en tenant les gran
électrodes, qui forment les extrémités du circuit métallique
entre Pise et Florence, plongés dans le fond de l'Arno, a
lieu que dans l'eau des puits, le courant a, dans les deu
cas, à peu près la même intensité. Je remarquerai tou
tefois que les petites différences, de 0°,50 à 0°,60, so
toujours dans le même sens; c'est-à-dire que l'intensité d
courant est plus grande que ces quantités dans le cas où le
électrodes plongent dans la rivière que dans l'autre.

Je résumerai donc les conséquences des expériences rapportées dans ce paragraphe et dans les deux précédents, de la manière suivante : « La résistance d'une couche de terre,
» prise dans les conditions décrites, et dont l'augmentation
» avec l'épaisseur souffre d'abord une diminution très-ra-
» pide, reste constante depuis quelques mètres jusqu'à plu-
» sieurs kilomètres, de 8 à 20 jusqu'à 77 kilomètres.

» Cette résistance va toujours en diminuant d'une quan-
» tité qui, quoique très-petite, est néanmoins constante et
» parfaitement distincte pour l'instrument employé dans
» ces recherches. »

§ XVIII. — Il me reste, enfin, à décrire les résultats des expériences semblables tentées en tenant les électrodes plongés à la surface du sol, et, par conséquent, dans des matières très-peu conductrices.

Dans ces circonstances, il est presque impossible d'obtenir que les deux électrodes plongent dans des terrains

loués de la même conductibilité. Il faut donc, comme je ai déjà dit dans le § XV, s'assurer d'abord de cette condi-ion, ce qu'on fait en doublant le circuit métallique formé vec le fil de cuivre couvert de gutta-percha, de manière à uvoir s'assurer qu'une couche de l'épaisseur de 1 mètre, rise en différents points, a la même conductibilité. Avec tte méthode, pratiquée sur des longueurs qui ont varié puis quelques mètres jusqu'à 2 kilomètres sur des argiles alluvion, et en faisant plonger les petits électrodes de ivre dans la couche superficielle, j'ai trouvé que « la ré-» sistance de la couche de ce terrain, dont l'augmentation » avec l'épaisseur se prolonge jusqu'à quelques centaines » de mètres, et semble diminuer plus lentement que dans » les autres cas que j'ai étudiés jusqu'ici, reste constante » de 200 à 300 mètres jusqu'à 2 kilomètres. » Je n'ai pas besoin de faire remarquer qu'on rencontre dans ces expé-riences, à cause des inégalités du sol et des accidents de la surface, des difficultés très-grandes, pour parvenir à des résultats exacts et constants.

Afin d'opérer sur des couches plus longues d'un terrain ayant partout la même conductibilité, j'ai été obligé de recourir au banc de sable qui est au bord de la mer. Pour cela, je faisais plonger les petits électrodes de cuivre, déjà décrits (§ XV), dans la couche superficielle de ce banc, après avoir enlevé le sable sec transporté par le vent, qui couvre la première couche contenant 4 à 5 pour 100 d'eau. La droite tirée entre le centre des électrodes était parallèle à la côte et à la distance de 100 mètres de l'eau. Je donnerai ici les nombres obtenus avec 4 éléments de Bunsen.

Longueur de la couche.	Déviation totale.
m	°
100	8,20
100	8,50
100	8,50
1000	8,50
1000	8,60
1000	9,20
2000	8,60
2000	8,90
2000	9,50
3000	8,60
3000	9,40
3000	9,40

J'ai fait plonger les mêmes électrodes dans terrain à 1 mètre de profondeur : le sable de cett contenait 12 à 13 pour 100 d'eau. Voici les nombre avec 1 élément de Bunsen :

Longueur de la couche.	Déviation totale.
m	°
100	18,10
100	18,10
100	18,20
100	18,90
1000	18,60
1000	19,10
1000	19,10
1000	19,20
2000	19,50
2000	19,60
2000	19,60
2000	20,10
3000	22,20
3000	22,10
3000	22,10
3000	20,10

s différents nombres rapportés pour chaque distance été obtenus en changeant la place des électrodes de quel- décimètres.

fin d'obtenir des résultats plus exacts, je donnai à la che de 1 mètre de profondeur une légère inclinaison ; sorte que les électrodes, qui dans les différentes expé- nces plongeaient toujours de la même quantité, se trou- ent ainsi en contact d'une couche dont la profondeur it tantôt un peu plus grande que 1 mètre, tantôt un peu s petite.

Il résulte évidemment des expériences rapportées, « que la résistance de la couche de sable, prise ou à la surface ou à 1 mètre de profondeur, et à la distance de 100 mètres de l'eau, diminue très-lentement, mais uniformément, depuis 100 mètres jusqu'à 3 kilomètres. »

Ce résultat serait aussi confirmé par les expériences faites r la même couche pour des longueurs plus grandes. Mal- heureusement, les nombres que je vais rapporter ont été obtenus au commencement de ces expériences, en em- ployant la méthode des résistances, et en ayant toujours dans le circuit un nombre trop grand de fils du cadre. N'ayant pas eu toujours à ma disposition les 8 kilomètres de fil de cuivre couvert de gutta-percha, je n'ai pu étudier de nouveau ce sujet avec la méthode plus simple et plus sûre, suivie ensuite. Toutefois, les nombres obtenus sont si distincts entre eux pour les différentes longueurs, qu'ils ne laissent aucun doute sur la conclusion. Voici ces nombres obtenus en faisant plonger les mêmes électrodes dans la couche superficielle du banc de sable à 50 ou 60 mètres de la côte, et contenant 6 à 7 pour 100 d'eau, et avec 4 élé- ments de Bunsen :

LONGUEUR DE LA COUCHE.	NOMBRE DES FILS DU CADRE qui sont dans le circuit.	DÉVIATION TOTALE.
m		o o
1000	125 à 130	16,50 à 17
2000	140 à 146	16,50 à 17
4000	160	16,50 à 17
6000	206	16,50 à 17
8000	208 à 220	16,50 à 17

Je ferai remarquer que dans un circuit entièrement for avec les fils du cadre, j'avais cette même déviation av 128 fils.

J'ai répété ces expériences sur le même banc de sabl en tenant les électrodes plongés dans des trous remplis sable salé de la côte, et en contact de l'eau. En opérant cette manière, la résistance de la couche, qui est à o^{m}, de la surface et à 50 ou 60 mètres de la côte, est rédu égale à 12 ou 13 fils : « Cette résistance reste consta » depuis 10 à 100 mètres jusqu'à 8 kilomètres. »

Ces expériences, tentées sur le bord de la mer, éta dans une condition exceptionnelle par la proximité d'u couche si étendue d'un très-bon conducteur, j'ai voulu répéter sur les longues lignes télégraphiques. Pour cela, lieu d'employer les grands électrodes plongés dans l'e des puits, je me servais de petits électrodes plongés da la dissolution de sulfate de cuivre contenue dans des c lindres de porcelaine, qui plongent à leur tour dans l'e ou dans le sable salé dont je remplis des trous formés à surface du sol.

J'avais fait d'abord un très-grand nombre d'expérien avec les électrodes ainsi disposés, et les 8 kilomètres fil de cuivre couvert de gutta-percha, dans des conditic de terrain très-différentes, tel que des plaines très-étendu ou des terrains montueux, ou les fossés à côté du chem de fer de Pise à Lucques. Les différences de terrain en cc tact des deux électrodes, qu'il est impossible d'éviter, m'ont jamais permis d'obtenir des nombres qui s'accorde

parfaitement ensemble; mais il est certain, d'un autre côté, que les petites différences que j'ai trouvées pour des longueurs qui ont varié de 100 mètres jusqu'à 8 kilomètres, n'excèdent pas ces mêmes différences qu'on a en tenant les électrodes à une distance constante et plongés dans des terrains d'une nature différente. Je puis donc déduire de ces expériences, « que la résistance de la couche superficielle de la terre, » obtenue avec les électrodes ainsi disposés, et dont l'aug- » mentation avec l'épaisseur diminue rapidement, reste » constante depuis 100 à 200 mètres jusqu'à 8 kilomètres. »

Voici, en dernier lieu, les résultats des expériences tentées sur les longues lignes télégraphiques, et en tenant les petits électrodes plongés dans une dissolution de sulfate de cuivre en contact de la couche superficielle du sol. Dans chaque cas, j'ai fait varier plusieurs fois la position des électrodes, et les nombres que je vais rapporter sont les moyennes des déviations totales, très-peu différentes entre elles, ainsi obtenues :

CIRCUIT MÉTALLIQUE DE 40 396 MÈT.			CIRCUIT MIXTE.		
NOMBRE des éléments.	DÉVIATION totale.	INTENSITÉ.	DÉVIATION totale.	INTENSITÉ.	RAPPORT des courants.
2	24°,50	1705	27°,80	2020	1,18
2	26,40	1880	30,20	2255	1,19
2	24,50	1705	30,50	228 »	1,33
CIRCUIT MÉTALL. DE 94 373 MÈTRES.			**CIRCUIT MIXTE.**		
4	19,90	1315	29,80	2220	1,68
4	19,90	1315	30,00	2235	1,69
4	22,60	1525	34,20	2670	1,74
CIRCUIT MÉTALL. DE 155 203 MÈTRES.			**CIRCUIT MIXTE.**		
6	19,35	1270	30,50	2280	1,79

Il est ainsi prouvé, par les expériences décrites dans ce paragraphe sur la propagation du courant électrique dans la couche superficielle du sol, « que la résistance de cette » couche, dont l'augmentation décroît d'abord avec l'é- » paisseur moins rapidement que pour les couches plus » profondes et plus conductrices, éprouve ensuite une » diminution proportionnellement plus grande avec l'al- » longement de la couche même. »

§ XIX. — Je résume donc les conclusions générales de cette longue série d'expériences, dont l'exposition ne pourra, malheureusement, se défendre de la tache d'une trop grande prolixité, si, en regardant uniquement à la valeur du résultat, on n'apprécie pas, dans le même temps, les difficultés et les efforts qu'on a dû faire pour parvenir à tout le degré d'exactitude dont le sujet était susceptible.

1°. La conductibilité d'une couche de terre est d'autant plus grande que celle qu'on trouve avec les mêmes électrodes dans la même couche isolée, que sa longueur est plus grande, et plus mauvais son pouvoir conducteur;

2°. En augmentant la surface des électrodes, ou en les entourant d'une couche très-limitée, et qu'on peut regarder comme infiniment petite en comparaison de la distance totale qui les sépare d'un corps bon conducteur, on diminue considérablement la résistance d'une couche terrestre en la réduisant de la moitié jusqu'à un trentième, suivant les cas;

3°. La résistance d'une couche terrestre, dont l'augmentation diminue généralement avec l'épaisseur, suivant une loi qui est plus ou moins rapide, en raison de l'étendue des électrodes, et de la conductibilité de la couche, reste constante depuis 10, à 100, à 200 mètres jusqu'à 8 kilomètres; de ce dernier nombre à 20 jusqu'à 77 kilogrammes, la résistance diminue d'une quantité qui, quoique très-petite, est parfaitement distincte, et en rapport avec l'allongement de la couche;

4°. Cette diminution est d'autant plus grande, que la

conductibilité de la couche est mauvaise, et dans quelques cas exceptionnels, tels que le contact d'une couche d'un très-bon conducteur, cette diminution commence à des distances comparativement beaucoup plus petites;

5°. La résistance d'une couche de terre de 77 kilomètres, interposée entre les grands électrodes plongés dans l'eau des puits, n'est pas plus grande que celle d'une couche de $0^m,50$ de la même eau contenue dans un récipient isolé, et ayant la section de ces électrodes.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que ces nombres sont ainsi déterminés en conséquence des longueurs des circuits métalliques sur lesquels j'ai pu opérer.

SECONDE PARTIE.

Explication expérimentale et vues théoriques de la conductibilité de la terre.

§ XX. — Lorsque j'ai publié, il y a sept ans, mes premiers résultats sur la conductibilité de la terre, les physiciens ont émis deux opinions différentes pour les expliquer : d'un côté, en regardant la terre comme le réservoir universel de l'électricité, on a cru qu'il n'y avait pas de courant proprement dit lorsque les deux électrodes, en communication avec les pôles de la pile, plongeaient dans le sol, mais que les deux électricités, rendues libres par l'action voltaïque, pouvaient toujours s'écouler et se répandre dans cet immense conducteur, à la manière de l'électricité de la machine électrique ou des nuages orageux. Cette interprétation, qui conduisait nécessairement à admettre qu'un fil métallique en communication, d'un côté, avec la terre, de l'autre, avec une machine électrique en activité, est doué de toutes les propriétés d'un conducteur voltaïque, n'explique d'ailleurs aucune des lois de la conductibilité de la terre, et ne peut résister aux objections qu'il est facile

de faire en examinant les conséquences nécessaires de cette même interprétation.

Pourquoi une couche de terre de quelques millimètres présente-elle, au passage du courant, une résistance qui augmente d'abord avec l'épaisseur, qui reste ensuite constante, et qui commence à diminuer à de grandes longueurs? Pourquoi, dans un circuit mixte, la résistance du fil métallique existe-elle toujours? Comment expliquer, dans cette idée, les différences trouvées suivant la profondeur de la couche, suivant la forme de sa surface, et son élévation sur les couches horizontales de la plaine? Pourquoi, quand on met une couche de terre ou d'eau contenue dans un vase isolé, en communication avec la terre à l'aide d'un fil très-bon conducteur, pourquoi, dis-je, la résistance de cette couche reste-t-elle la même au lieu de diminuer, comme il arriverait si elle faisait partie du sol?

Ces objections, et bien d'autres que je crois inutiles d'accumuler ici, laissent sans aucun fondement une telle explication de la conductibilité de la terre et de ses lois.

Dans l'autre idée, émise par des physiciens respectables, on s'est contenté d'appliquer la loi très-connue de M. Pouillet, de la résistance en raison inverse de la section du conducteur, au cas de la propagation du courant dans la terre.

Il est aujourd'hui hors de doute que cette loi, vraie dans un grand nombre de cas, ne peut s'appliquer à la propagation du courant dans un conducteur imparfait dont la section est beaucoup plus petite que celle des électrodes. De même, cette loi et les conséquences déduites par son illustre auteur, sur les courants dérivés sur des fils métalliques, ne peuvent s'étendre aux lois de ces mêmes courants, telles qu'on les trouve avec l'expérience, en tenant les deux extrémités du galvanomètre en contact des diffé-

rents points d'une lame métallique très-étendue, qui fait partie du circuit voltaïque.

Toutes les lois de la propagation du courant électrique dans la terre, exposées dans la première partie de ce Mémoire, sont également inexplicables en adoptant les lois déjà citées. L'influence de l'étendue des électrodes, celle de la couche du bon conducteur qui entoure les électrodes, celle de la forme et de la longueur de la couche, ne peuvent en aucune manière se déduire, en admettant tout simplement que la conductibilité de la terre varie proportionnellement à sa section.

§ XXI. — Le cas de la propagation du courant électrique dans la terre, est celui très-connu par les physiciens, des deux rhéophores, ou électrodes de la pile, qui plongent dans une masse liquide, et dont la section peut être regardée comme infiniment plus petite, comparativement à celle de cette masse. Dans un Mémoire que j'ai publié dans les *Annales de Chimie et de Physique,* année 1837, et qui a été écrit en ignorant entièrement la théorie de Ohm et les travaux de M. Pouillet, on peut lire la description d'un très-grand nombre d'expériences tentées sur ce sujet, et qui malheureusement étaient, à cette époque, sans liaison théorique, sans application, et en quelque sorte en contradiction avec les lois qu'on venait d'établir sur la propagation du courant électrique dans les fils métalliques.

Je dois rappeler ici que, parmi les expériences rapportées dans ce Mémoire, il en existe qui prouvent : 1° que dans certains cas déterminés, en faisant passer le courant dans une masse liquide, par des électrodes d'une section très-petite en comparaison de celle de la masse, on trouve que l'influence de la longueur de la couche liquide sur l'intensité du courant est nulle, et que cela arrive d'autant plus tôt que le liquide rhéophore est meilleur conducteur; 2° que, dans ces mêmes conditions, l'intensité du courant

augmente, avec la surface des électrodes, jusqu'à une taine limite au delà de laquelle l'influence de cette sur reste nulle.

Ces deux conclusions de mes anciennes expérien vraies alors comme maintenant, et qu'il est impossibl déduire de la simple loi de l'intensité du courant en son inverse de la section du conducteur, sont aujourd vérifiées en grand, dans le cas de la propagation du c rant dans la terre.

Par excès de preuves, je rapporterai ici, le plus bri ment possible, quelques expériences qui ne diffèren celles publiées en 1837, que pour avoir été répétées une plus grande échelle.

J'ai fait construire une grande caisse carrée, en bois, avait $6^m,35$ de côté, et qui était soutenue sur des pilie briques. Cette caisse contenait 8000 litres d'eau forr une couche de $0^m,110$ de hauteur. En faisant plonger milieu de cette grande couche d'eau, les électrode 70 millimètres de largeur et de 110 millimètres de l teur, j'ai trouvé que la résistance d'une couche de 0^m, d'épaisseur était de 27 fils au milieu de la couche.

Voici comment les résistances ont varié avec les d rentes épaisseurs, en partant de celle de $0^m,100$, pris milieu de la couche, et en s'éloignant également des c côtés. La caisse était remplie d'eau de rivière à + 2 grés centigrades.

Épaisseur de la couche.	Résistance.
m	
0,100	27
0,200	36
0,500	46
1,000	53
2,000	66
4,000	82
6,000	106

i pas besoin d'insister longuement pour montrer ces nombres diffèrent de ceux trouvés (§§ X et XI) ıt de la même manière, sur une couche liquide tout la même section que celle des électrodes.

lé à l'eau, contenue dans cette grande caisse, 50 s d'acide hydrochlorique du commerce. Dans ce sistance de la couche, qui était de 4 fils pour épaisseur, *est restée constante* jusqu'à une épais- mètres.

t construire deux caisses carrées en bois, dont t $0^m,50$ de côté, et l'autre 1 mètre, et je les ai d'eau de puits à la hauteur de 100 millimètres. longer successivement les électrodes déjà décrits, ans le canal ayant la même section des électrodes, nilieu de la couche carrée de $0^m,50$, et ensuite ouche de 1 mètre. Pour chacune de ces couches ıi fait trois expériences dans lesquelles j'ai déter- elle était l'épaisseur de la couche dans les deux ui donnait la même déviation totale qu'on avait ınal. Voici les nombres trouvés :

DE LA COUCHE.	ÉPAISSEUR de la couche qui donne 16°,50 de déviation totale.	ÉPAISSEUR de la couche qui donne 2 degrés de déviation totale.	ÉPAISSEUR de la couche qui donne 5 degrés de déviation totale.
a même section des es ou 71 millimèt.	m 0,020	m 0,055	m 0,110
$0^m,50$.....	0,035	0,340	0,450
1 mètre.....	0,036	0,390	0,750

porterai encore trois autres expériences. La pre- été faite dans le canal ayant la même section des ; la seconde, avec les mêmes électrodes plongés ouche de 1 mètre carré de côté, et la troisième e même couche, mais avec des électrodes qui

avaient la même section que la couche, ou 1 mètre de largeur. Dans tous les trois cas, la couche d'eau était ha de 100 millimètres, et les électrodes avaient 71 mil mètres de largeur. Voici les nombres trouvés :

ÉPAISSEUR de la couche.	INTENSITÉ DU COURANT dans le canal.		INTENSITÉ DU COURANT dans la caisse de 1m.		INTENSITÉ DU COURANT avec les électrod. de 7	
	Déviation totale.	Intensité.	Déviation totale.	Intensité.	Déviation totale.	Intensité
m	o		o		o	
0,50	7,10	420	33,00	2540	55,607	6008?
1,00	3,60	210	19,50	1280	36,50	2925

La simple lecture de ces nombres prouve suffisamme que, dans le cas de la propagation du courant électriq dans une couche liquide dont la section est beaucoup pl grande que celle des électrodes, la conductibilité de l couche ne peut être déduite de la loi de la section, et qu cette conductibilité est beaucoup plus grande que celle qui appartient à la section des électrodes, et plus petite que celle qu'on a lorsque les électrodes ont la même section que la couche.

En composant, avec l'argile grasse bien manipulée, de couches de dimensions différentes, on peut encore plus facilement qu'avec l'eau étudier l'influence de la forme de la couche sur sa conductibilité.

J'ai formé sur un plan de bois, et avec cette argile, des couches qui avaient 110 millimètres de hauteur et des largeurs différentes. Voici les déviations totales obtenues en plongeant dans ces couches, et à des distances variables, les électrodes de 71 millimètres de largeur et de 100 millimètres de hauteur; une couche de vernis sur la partie supérieure des électrodes fait que la surface métallique, en contact de l'argile, est nécessairement constante.

DISTANCE entre les électrodes.	CANAL de 71mm de largeur.	COUCHE de 0m,20 de largeur.	COUCHE de 0m,30 de largeur.	COUCHE de 0m,60 de largeur.
m	°	°	°	°
0,20	30,40	57,00	60,00	60,00
0,50	17,60	36,50	43,50	48,60
1,00	9,50	22,00	27,56	38,40

On voit encore par ces nombres l'influence de l'étendue la couche sur sa conductibilité, augmenter avec la dince entre les électrodes.

En laissant toujours plongés, au milieu de la couche de ,30, les mêmes électrodes, j'ai doublé la hauteur de la uche d'argile entre les électrodes mêmes, et j'ai obtenu nombres suivants :

Épaisseur de la couche de 0m,30.	Déviation totale.
m	°
0,20	64,50
0,50	47,50
1,00	32,10

Des nombres semblables ont été obtenus en augmentant couche au-dessous des électrodes. Enfin, j'ai formé ces mes couches d'argile, en les posant sur des lames de ivre ou d'étain, qui posaient à leur tour sur des planches bois.

De cette manière, la conductibilité des couches se trouit notablement augmentée; quand même la distance tre ces lames et la base des électrodes était de 0m,30 à ,50, et depuis 2 mètres jusqu'à 0m,50, l'intensité du urant restait exactement la même, c'est-à-dire indéndante de l'épaisseur de la couche; il fallait rapprocher aucoup les électrodes pour voir le courant augmenter.

§ XXII. — Un cas très-remarquable pour la théorie de s phénomènes est celui de la conductibilité des sphères

liquides. J'ai employé, dans cette étude, deux ballons de verre, dont l'un avait 62 millimètres, l'autre 450 millimètres : la capacité du premier était de 400 centimètres cubes, et celle du second de 72 litres. J'ai soudé, aux extrémités des deux fils de cuivre couverts de gutta-percha, un disque de cuivre de 5 millimètres de diamètre, et j'ai, avec la flamme d'alcool, recouvert entièrement de cire à cacheter les faces des disques sur lesquels les fils de cuivre étaient soudés. Les deux fils de cuivre, ainsi préparés, étaient introduits dans un bouchon de liége, qui était coupé de manière à se fixer dans les ouvertures des deux ballons; enfin le fil de cuivre couvert de gutta-percha, qui allait au fond du ballon, avait été courbé à son extrémité, de manière à obtenir que les deux disques fussent tournés l'un contre l'autre. Avec des dispositions très-faciles à concevoir, et que je me dispense pour cela de décrire, je pouvais facilement fermer d'abord le circuit entre les électrodes pour découvrir s'il y avait un courant entre eux, et ensuite avec la pile. Le liquide employé pour remplir les deux ballons était une solution très-diluée de sulfate de cuivre, ayant 1,0109 de densité à + 15 degrés centigrades.

Sans tâtonnement, sans aucune incertitude, j'ai trouvé que la conductibilité des deux sphères liquides, en tenant les deux électrodes aux extrémités de leur diamètre, c'est-à-dire à 62 millimètres dans un cas, et à 450 millimètres dans l'autre, *était exactement la même.*

Dans ces deux sphères liquides, il a fallu approcher les deux électrodes à la distance de 10 millimètres pour obtenir une augmentation distincte dans l'intensité du courant.

§ XXIII. — Enfin, j'ai pu facilement m'assurer que les lois des courants dérivés, obtenus d'une grande couche d'eau contenue dans une caisse de bois, ou dans un réservoir au milieu d'un champ, s'accordent généralement avec celles trouvées par MM. Kirchkoff et Ridolfi sur une lame métallique très-mince. Je rappellerai ici qu'on trouve, en vi-

la position des extrémités du galvanomètre sur cette des *lignes* douées de la propriété singulière de ne nner des courants dérivés; on peut aussi, en tenant ıe des extrémités du galvanomètre, obtenir une dé- constante, en faisant promener successivement extrémité sur les différents points d'une de ces lignes, terminée. Dans tous les cas, les lignes, ainsi tracées, ı peut appeler *lignes* ou *surfaces de niveau*, ou d'é- ısion, coupent normalement la surface et les bords lucteur, et leur forme est indépendante de la force :ant. Dans le premier cas, on touche, avec les deux ités du galvanomètre, des points différents qui appar- ıt à la même surface, et, dans l'autre, des points des ırfaces différentes. Le courant dérivé qui parcourt le ılvanomètre est ainsi excité par la différence des *états ues* qui appartiennent aux points touchés de la cou- ırsque ces états sont les mêmes, comme pour tous les d'une des surfaces d'égale tension, le courant dérivé ; et lorsque la différence entre ces états est constante, pour tous les points de deux de ces surfaces diffé- le courant dérivé reste le même, malgré les grandes ıces dans les filets d'électricité qui traversent ces

XIV. — Je suis bien loin de croire que les expériences tées dans cette dernière partie de mon Mémoire le fondement d'une vraie théorie physique de la- on puisse déduire l'explication complète des lois de ductibilité de la terre.

expériences prouvent seulement, qu'en faisant plon- électrodes d'une pile dans une masse d'eau ou de ɔolée, dont les dimensions sont beaucoup plus grandes lles des électrodes, et à des distances également très- ɔs comparativement à la grandeur des électrodes, on que l'intensité du courant varie avec l'épaisseur de che, suivant des lois qui sont approximativement les

mêmes que celles qu'on obtient dans le cas de la terre, est inutile de remarquer que la différence qui existe s plique par la différence très-grande des dimensions d terre et des longueurs des couches terrestres soumises à périence, et celles des couches d'eau ou d'argile conte dans les ballons de verre ou dans les caisses.

L'augmentation de la conductibilité d'une couche restre par la plus grande étendue des électrodes, et p bonne conductibilité de la couche qui les entoure, a pour effet de propager à des couches terrestres plus é dues, plus conductrices et plus profondes, l'*état électr* des extrémités métalliques de la pile, et de détruire ai dans une quantité plus ou moins grande, la conductil discontinue et imparfaite des matières terrestres, doit cessairement atteindre une limite. Indépendammen toute hypothèse, il faut admettre que cette diminution l'intensité d'un courant qu'on trouve en augmentant la gueur du conducteur, et qu'on appelle *résistance*, do vérifier pour les électrodes et pour les couches de ter d'eau qui en sont le prolongement, lorsqu'ils acqui une grande étendue.

L'accroissement trouvé dans la conductibilité d'une che d'argile par la plus grande hauteur de cette co entre les électrodes, fait entrevoir la cause qui peut e quer la diminution qu'on trouve dans la résistanc couches terrestres avec leur allongement.

L'influence de la courbure de la terre, qui est déjà c certaine valeur pour les longueurs des lignes télégraph sur lesquelles j'ai expérimenté, et celle des montagnes ou moins élevées, plus ou moins étendues, d'une co tibilité plus ou moins grande, doivent expliquer le générales de la propagation du courant électrique da terre et les variations locales de cette loi.

Je crois que les formules relatives au cas de la ter trouvent dans des recherches peu connues à l'étra

ı jeune savant de Pise, M. Felici, aide de la chaire de que de cette Université, a publiées d'abord dans le *ito*, et, dernièrement, dans le journal de M. Tor-, de Rome.

ıt en admettant que la manière suivant laquelle ım se représente un courant électrique, me semble ropre à expliquer le mouvement de l'électricité dans métallique communiquant d'un côté avec le conduc- : la machine électrique, et de l'autre avec la terre, lui qui doit exister dans un conducteur voltaïque; ıe nous ignorions physiquement la valeur de cette le, que Ohm appelle *force électroscopique*, et qui utre chose que la température dans la théorie de la r; il n'est pas moins vrai qu'on a appliqué ,avec un ı succès, à la propagation de l'électricité, la même on différentielle trouvée par Fourier (1) pour expri- : mouvement de la chaleur dans un prisme solide longueur infinie. M. Ohm, et après MM. Kirchkoff, en et L. Ridolfi, en partant de cette même équation, simplifiant le calcul par la suppression de l'équation perte de fluide par la surface, ont déduit à priori les s courants dérivés sur les lames métalliques et sur des es d'eau, démontrées ensuite par l'expérience.

Felici, de son côté (2), en s'appliquant à étudier le la sphère, a démontré que le flux de l'électricité ou ce du courant, y est indépendant de la distance entre ctrodes, et que, pour des sphères homogènes d'une ctibilité différente, les courants obtenus en appli- les électrodes aux extrémités d'un diamètre sont in- dants des diamètres de ces sphères, et varient seule- avec leurs pouvoirs conducteurs.

recherches théoriques, qui ont déjà obtenu de telles

---

raité de la Chaleur, page 117.

urnal de Tortolini. Rome, cahier de juillet 1850.

confirmations par l'expérience, méritent toute la c
ration des savants.

Tableau du galvanomètre.

INTENSITÉ.	DÉVIATION FIXE.	DÉVIATION TOTALI
	°	°
3	3,00	5,10
6	5,80	9,80
9	8,50	14,40
12	10,85	18,40
15	13,40	22,35
18	15,45	25,55
21	17,35	28,65
24	19,00	31,75
27	20,60	34,50
30	22,40	37,25
33	23,75	39,80
36	25,10	42,10
39	26,30	44,25
42	27,50	46,35
45	28,60	48,20
48	29,65	49,70
51	30,60	01,50

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉLASTICITÉ DES HÉTÉROPHONES ;

PAR M. A. BAUDRIMONT.

L'étude de la structure des corps est, sans aucun d
une des plus intéressantes auxquelles on puisse se livre
connaît les relations remarquables qu'elle présente av
formes qu'ils peuvent affecter par la cristallisation ; o
qu'elle est intimement liée à l'action qu'ils exercent
lumière et la chaleur, et qu'elle est en rapport imm
avec leur élasticité. Toutefois, cette dernière étude
peine ébauchée, et laisse entrevoir la possibilité d'êt

idie davantage. Il est éminemment probable que, si
.cture la plus intime des corps était mieux connue, on
erait sans difficulté, en opérant par synthèse, la solu-
de problèmes fort difficiles en apparence, et que les
ètres ne peuvent aborder que par l'analyse la plus
onde.

. y a déjà bien des années que, partant d'un point de
purement spéculatif, j'avais pensé qu'il devait exister
: relation fort simple entre les dimensions cristallogra-
iques des corps cristallisés et la distribution de l'élasticité
ns leur intérieur. Je désirais bien ardemment étudier ce
jet; mais deux difficultés considérables s'opposaient à
exécution de ce projet : il fallait premièrement se pro-
urer les substances propres à cette étude, et, en second
ieu, créer une méthode expérimentale qui pût donner des
notions assez précises sur l'objet de ces recherches.

Il m'a fallu attendre dix ans rien que pour rencontrer dans le commerce le quartz propre à une partie des expériences qui sont l'objet de ce Mémoire.

Les physiciens et les minéralogistes ont accordé le plus vif intérêt aux belles recherches de Félix Savart sur la distribution de l'élasticité dans l'intérieur du bois, du quartz et du spath calcaire. Il a étudié ces corps par les vibrations de diverses séries de plaques coupées dans différentes directions. J'avais d'abord songé à faire usage de la même méthode; mais les principales lois des vibrations des plaques, même homogènes, étant inconnues, il m'a fallu chercher d'autres moyens d'observation.

Deux ordres de moyens principaux se présentaient pour ces recherches : 1° l'étude de l'élasticité par la traction, la pression ou la flexion; 2° l'emploi de l'acoustique.

Les corps sur lesquels il est possible d'opérer ne présentant souvent que de petites dimensions, il a fallu renoncer à l'étude directe de l'élasticité. Quant aux moyens donnés par l'acoustique, j'ai déjà dit pour quelles raisons il avait

fallu renoncer à l'emploi des plaques, quoique je ferai voir par la suite que l'on peut en tirer un grand parti, même pour obtenir des données numériques. Il m'a fallu également renoncer à profiter des vibrations longitudinales, par les mêmes raisons qui ne permettaient pas d'étudier l'élasticité d'une manière directe. Il ne restait plus que l'emploi des vibrations transversales des lames et des verges élastiques libres ou encastrées à une extrémité, et c'est ce moyen qui a dû être employé.

Avant de le mettre en pratique, il m'a paru indispensable d'en faire l'objet d'une étude spéciale, afin de pouvoir en tirer le parti le plus avantageux. L'ordre suivi dans le cours des présentes recherches a donc été : 1° de déterminer les limites dans lesquelles la formule d'Euler s'applique aux lames élastiques ; 2° de voir si les lois déduites de cette formule convenaient aux corps hétérophones ou à axes inégaux ; 3° d'étudier le mode de distribution de l'élasticité dans ces sortes de corps ; 4° enfin, d'appliquer le résultat des observations à diverses substances cristallisées.

PREMIÈRE PARTIE.

Vérification des lois déduites de la formule d'Euler, et leur application aux corps hétérophones.

La plupart des formules mathématiques, relatives à la mécanique et à la physique, supposent dans la matière, dans sa forme et dans l'expérimentation, une perfection qu'il est souvent impossible de réaliser. Il résulte de ces considérations, que plusieurs de ces formules ne sont exactes dans l'application qu'entre des limites assez resserrées.

La première condition à remplir était donc de vérifier les principales lois que l'on déduit de la formule qu'Euler a donnée comme représentant les phénomènes des lames élastiques. Quoique Chladni (*Traité d'Acoustique*, page 101) dise que tous les résultats de cette formule se constatent par

l'expérience, le but spécial que je me proposais d'atteindre ne me permettait pas de négliger cette vérification.

La formule d'Euler peut être exprimée ainsi :

$$N = \frac{n^2 D}{L^2}\sqrt{\frac{hR}{G}},$$

N étant le nombre des vibrations, n un nombre qui convient à chaque manière de faire vibrer transversalement une lame élastique; D l'épaisseur de cette lame; L sa longueur; h la hauteur de laquelle un corps tombe en une seconde; R la rigidité de la matière; G son poids spécifique.

Si l'on opère sur une substance dont on suppose que l'élasticité seule varie, tandis que la manière de vibrer, la densité et le lieu où l'on opère demeurent invariables, lorsqu'on ne cherche d'ailleurs que le nombre *relatif* des vibrations, ou la variation de l'élasticité, la formule précédente se réduit à

$$N = \frac{D}{L^2}\sqrt{R}.$$

Cette nouvelle équation peut se décomposer en plusieurs lois, que l'on formule généralement ainsi qu'il suit :

1°. La largeur des lames élastiques, non signalée dans l'équation, n'a pas d'influence sur le nombre des vibrations qu'elles rendent;

2°. Le nombre des vibrations est en raison directe de l'épaisseur des lames élastiques;

3°. Le nombre des vibrations est en raison inverse du carré des longueurs des lames élastiques;

4°. Le nombre des vibrations des lames élastiques est en raison directe de la racine carrée de l'élasticité de la matière qui les forme, ou le carré du nombre des vibrations transversales des verges élastiques est proportionnel à leur élasticité.

Ces quatre lois ont été successivement l'objet de recherches spéciales.

Largeur des lames élastiques.

Il est bien vrai que la largeur des lames élastiques n'a aucune influence sur le son qu'elles rendent. Cela se vérifie même lorsqu'on donne à la lame une largeur moindre que son épaisseur. Seulement, dans ce dernier cas, si la matière de la lame est facilement compressible, le son monte un peu; mais cela est dû à ce que la lame est déformée d'une manière très-sensible, par la pression qu'on est obligé de lui faire subir pour la maintenir dans une position fixe.

La loi des largeurs s'applique également aux corps à plusieurs axes d'élasticité, pourvu qu'on les fasse toujours vibrer dans le même sens.

Longueur des lames élastiques.

La loi qui dit que les nombres des vibrations exécutées par une lame élastique sont en raison inverse des carrés des longueurs des parties vibrantes de cette lame a été l'objet d'un grand nombre d'expériences faites sur des lames de diverses natures, isophones ou hétérophones (1). Dans aucun cas elle ne s'est montrée d'une exactitude rigoureuse, et elle a toujours varié dans le même sens, quelle qu'ait été la nature des lames employées.

Trois séries d'expériences ont été entreprises pour étudier la relation du nombre des vibrations avec la longueur des lames. Dans l'une d'elles, chaque lame était mise en vibration de manière à rendre plusieurs octaves d'un même son : les parties vibrantes étaient mesurées, et les carrés des mesures ainsi obtenues étaient comparés entre eux. Dans la deuxième série d'expériences, chaque lame était mise en

(1) Le mot *isophone* est employé pour désigner les corps dont l'élasticité est la même dans tous les sens; le mot *hétérophone* signifie le contraire; il est particulièrement spécial aux corps possédant des axes de structure bien déterminés.

vibration, de manière à rendre une gamme chromatique complète de plusieurs octaves. A chaque son rendu, la partie vibrante de la lame était mesurée, et les résultats obtenus étaient ensuite étudiés comparativement à la loi déduite de la formule d'Euler. Dans la troisième série d'expériences, au lieu d'obtenir des sons déterminés d'avance, la longueur des lames élastiques était divisée en parties offrant entre elles des rapports simples, et l'on faisait ensuite vibrer chacune de ces parties pour reconnaître le son qu'elle rendait.

Première série d'expériences. — Les résultats consignés dans le tableau ci-joint, ont été obtenus par une méthode simple et facile à mettre en pratique. Cette méthode n'exige qu'un simple diapason à son fixe pour terme de comparaison, et elle comporte, par cela même, une assez grande exactitude.

Le son du diapason, adopté pour cette série d'expériences, est le *la* le plus grave de la grande flûte traversière, dite en *ré*. Il est noté la_1; les octaves supérieures le sont par la_2, la_3, etc.; celles inférieures le sont par la_0 et la_{-1}.

Lames élastiques isophones.

SONS.	GLACE.						ZINC.				CUIVRE.	
	I. D = 6mm,675.		II. D = 2mm,545		III. D = 1mm,950		I. D = 2mm,390		II. D = 1mm,415		Unique. D = 1mm,645	
	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²
	mm		mm		mm		mm		mm		mm	
La_0.....	162,0	26244	"	"	88,0	7744	"	"	62,5	3905	66,3	4396
La_1.....	108,0	11664	69,8	4882	62,0	3841	53,6	2872	43,6	1900	45,2	2043
La_2.....	75,2	5655	48,5	2352	43,3	1874	36,25	1314	30,0	900	31,2	973
La_3.....	53,0	2809	34,2	1101	30,1	906	"	"	19,2	368	20,8	433
La_4	"	"	23,0	529	20,5	421	"	"	"	"	13,5	182

	LAITON.				FER.				ACIER.			
	I. D = 1mm,975		II. D = 1mm,500		I. D = 2mm,110		II. D = 1mm,100.		I. D = 1mm,940		II. D = 0mm,800	
	mm		mm		mm		mm		mm		mm	
La_{-1}.....	"	"	87,6	7674	"	"	"	"	"	"	"	"
La_0.....	72,0	5184,0	60,9	3709	84,3	7105	61,4	3770	85,6	7327	53,5	2816,0
La_1.....	50,5	2550,0	42,5	1806	58,6	3484	42,5	1806	58,8	3457	36,4	1324,0
La_2.....	34,0	1156,0	29,0	841	37,6	1414	29,0	841	39,3	1544	24,4	595,0
La_3.....	22,8	519,8	18,5	342	"	"	17,7	313	25,2	635	16,4	269,0
La_4.....	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	10,7	114,5

Lames élastiques hétérophones. — **QUARTZ.** — **Lames parallèles à l'axe du prisme dominant.**

SONS.	LONGUEUR DES LAMES DANS LA DIRECTION DE L'AXE DE STRUCTURE.							
	PARALLÈLES A UN PAN DU PRISME DOMINANT.				PERPENDICULAIRES A UN PAN DU PRISME DOMINANT.			
	I. $D = 4^{mm},670$		II. $D = 2^{mm},355$		I. $D = 4^{mm},855$		II. $D = 1^{mm},995$	
	L	L^2	L	L^2	L	L^2	L	L^2
La_1	"	"	71,3 mm	5084	"	"	68,4 mm	5130,0
La_2..... ...	64,8 mm	4199	48,0	2301	65,3 mm	4264	46,0	2116,0
La_3.....	44 à 45	2025	33,1	1092	"	"	31,3	980,0
La_4.....	31,0	961	24,4	598	"	"	20,7	428,5

Les lames métalliques étaient *laminées* et non recuites, par conséquent elles n'étaient point parfaitement isophones. Les lames de quartz ont été tirées d'un même morceau.

Lames élastiques hétérophones.

HÊTRE. — Lames parallèles à l'axe de l'arbre et à ses rayons médullaires.

SONS.	LONGUEUR DES LAMES DANS LA DIRECTION DE L'AXE DE L'ARBRE.													
	I. D = 9mm,156		II. D = 6mm,383		III. D = 3mm,100		IV. D = 2mm,195		I. D = 5mm,880		II. 2mm,190		III. 1mm,300	
	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²	L	L²
La_{-1}..	"	"	"	"	"	"	"	"	189,2 mm	36796	"	"	"	"
La_0....	156,00 mm	23336	131,0 mm	17161	"	"	"	"	130,6	17056	79,5 mm	6320	"	"
La_1....	106,75	11395	89,5	8010	63,25 mm	4000	55,00 mm	3025	90,4	8172	56,0	3136	"	"
La_2....	71,25	5076	60,5	3660	43,00	1849	39,00	1521	61,7	3806	38,2	1459	30.2 mm	912
La_3...	48,04	2342	"	"	29,5	880	26,75	715	40,8	1664	26,0	676	21,5	462
La_4....	"	"	"	"	"	"	18,75	351	"	"	18,5	342	"	"

Les quatre premières lames de hêtre ont été coupées l'une sur l'autre. Les deux dernières lames du même bois ont été coupées dans l'épaisseur de celle qui les précède immédiatement.

ıombres des vibrations correspondant à plusieurs
d'un même son, étant des multiples ou des sous-
:s par 2, 4, 8, etc., du nombre qui représente le
comparaison, les carrés des longueurs des parties vi-
levant être inversement proportionnelles au nombre
ıtions, il en résulte que ces mêmes carrés devraient
·e eux comme les rapports renversés qui viennent
ıdiqués, si la loi d'Euler pouvait être appliquée
anière rigoureuse aux lames élastiques. Il n'en est
ısi ; en examinant les séries appartenant à chacune
s, on voit que le carré des longueurs décroît plus
ent que le nombre des vibrations n'augmente, ou
. Par exemple, si la loi était parfaitement exacte,
les nombres appartenant à une même lame devrait
ouble de celui qui le suit, le quadruple du troi-
:t ainsi de suite. Cela est loin de se vérifier, et la
ı est toujours dans le même sens, que les lames
ophones ou non, comme celles de glace polie, et
bois ou de quartz. Toutefois il importe de remar-
e les différences entre la loi et l'observation dimi-
mesure que les lames sont plus minces, et que c'est
ırconstance fort heureuse ; car devant en faire l'ap-
ı à des corps cristallisés dont les dimensions sont
ment fort petites, il est plus facile d'en tirer des
inces que des lames épaisses.

ième série d'expériences. — Ces expériences ont
but de rechercher s'il n'existait point quelque or-
; la variation d'une loi dont les écarts sont toujours
même sens.

:urs lames isophones ou hétérophones ont été es-
le manière à donner jusqu'à quatre octaves de
chromatiques ; et tous les intervalles des sons ainsi
, ont été comparés aux longueurs des lames qui les
nt. Il est résulté de cette étude que les lames élas-

tiques encastrées à une extrémité, et vibrant transver
ment, suivent une loi analogue à celle des cordes. Les ex
ples suivants pourront faire comprendre cette proposi
Si l'on fait vibrer une lame élastique, si l'on détermi
son qu'elle rend, et si l'on fait vibrer ensuite les q
cinquièmes de la partie qui avait d'abord été mise en v
tion, on obtient exactement la quinte du premier so
cela peut être répété en divisant successivement la p
vibrante de la lame, jusqu'à ce que la dernière obtenu
assez petite pour ne plus rendre de son. Cette observ
peut être ainsi vérifiée avec une grande exactitude.

L'octave est donnée assez exactement par les deux ti
la partie vibrante; cependant, quand on continue à di
la lame de deux tiers en deux tiers, de manière à avoi
cessivement des parties vibrantes qui soient représenté
les différentes puissances de cette fraction, le son mon
peu. A la troisième octave, il est juste un demi-ton plus
que cette espèce de loi ne l'indique. Toutefois cet éca
bien moins grand que celui donné par la loi du carr
longueurs, comme on pourra le voir dans la troisième
d'expériences.

Les rapports 5 : 4 et 3 : 2 ne sont point fort éloign
ceux indiqués par la théorie; mais ils s'en éloignent c
dant, et les différences deviennent surtout considér
lorsqu'on accroît les intervalles musicaux.

Les nombres des vibrations donnant un son quelc
et sa quinte étant entre eux :: 2 : 3, les carrés de
de 4, ou 25 et 16, sont à peu près dans le rapport in
qui convient à ces sons; cependant on voit qu'il y a
différence de $\frac{1}{25}$, et qu'il faut raccourcir les lames un
plus que la loi d'Euler ne l'indique, à mesure que l
s'élève, pour obtenir le résultat voulu par l'expérien

Troisième série d'expériences. — Les expérience
vantes permettent de démontrer d'une manière rigou
et très-facile à mettre en pratique, que les nombr

ions transversales d'une lame encastrée à une extré-
ne sont pas exactement en raison inverse des carrés
ngueurs des parties vibrantes. En effet, si la loi
r s'appliquait rigoureusement aux lames élastiques,
rtie vibrante d'une de ces lames, divisée successi-
: en 2 ou en 4, devrait donner des sons qui seraient
ux comme les carrés renversés des longueurs de ces
, ou comme 1, 4 et 16. Or, ce sont là justement
ports d'un son déterminé quelconque à sa double et
adruple octave.

on fait l'expérience avec une lame quelconque, on
un tout autre résultat. Par exemple, une lame de
lont on a fait vibrer successivement 127 millimètres
ueur, la moitié, puis le quart de cette longueur,
é les résultats suivants :

Lame de glace.

Longueur.	Son théorique.	Son rendu.
mm		
127,00	$Ré_0$	$Ré_0$
63,5	$Ré_2$	Si_{1+}
31,75	$Ré_4$	Si_{b3-}

pourra répéter cette expérience sur telle lame que
udra, isophone ou hétérophone; elle donnera tou-
n résultat analogue au précédent.

oi relative à l'épaisseur des lames élastiques.

de simplifier l'examen de cette loi, les lames élas-
n'ont été comparées qu'autant qu'elles étaient d'une
nature et possédaient, par conséquent, une même
et une égale élasticité spécifique; on les a fait d'ail-
ibrer de manière à rendre un même son. Dans ce
a loi des épaisseurs était rigoureusement exacte, elle
satisfaire à l'équation

$$\frac{D}{D'} = \frac{L^2}{L'^2},$$

qui démontre que le rapport des épaisseurs doit être ég
celui des carrés des longueurs des parties vibrantes. C
équation peut être transformée en celle-ci,

$$\frac{L^2}{D} = \frac{L'^2}{D'},$$

qui est particulièrement applicable aux expériences dont
est question dans cet article.

Les expériences contenues dans le tableau relatif à
vérification de la loi du carré des longueurs des lames él
tiques, contiennent des éléments suffisants pour vérifi
les équations précédentes; mais on voit d'avance que ce
dernière loi ne convenant pas d'une manière rigoureu
à une même lame élastique, celle des épaisseurs doit êt
fort difficile à vérifier : car, si l'on applique la deuxièm
équation en divisant successivement les carrés des lo
gueurs d'une même lame rendant plusieurs octaves d'u
son déterminé par son épaisseur, qui est un nombre co
stant, les quotients obtenus doivent conserver entre eux le
mêmes rapports que les carrés des longueurs.

Si l'on compare ensemble les nombres inscrits sur un
même ligne horizontale et appartenant à une même sub-
stance, mais considérée sous des épaisseurs différentes, on
se trouve dans les circonstances les plus favorables à la loi.
En effectuant le calcul, on voit que, sans exception, les
quotients ou les rapports donnés par une même substance
et pour un même son, mais pour différentes épaisseurs, ne
sont point égaux ainsi qu'ils devraient l'être, *mais qu'ils sont d'autant plus grands, que les lames sont plus minces*; c'est-à-dire que, dans le cas des lames minces, les parties vibrantes sont relativement plus longues que dans les lames épaisses.

$\frac{L^2}{D}$

SONS.	GLACE.			QUARTZ.				SONS	HÊTRE.						
									Lames coupées les unes sur les autres.				Les deux dernières lames coupées dans l'épaisseur de la première.		
	I. D=6mm,675	II. 2mm,545	III 1mm,950	I. 4mm,660	II. 2mm,355	I. 4mm,855	II. 1mm,993		I. D=9mm,136	II. 6mm,383	III. 3mm,100	IV. 2mm,195	I. 5mm,880	II. 2mm,190	III. 1mm,300
La_0...	3931	"	3971	"	"	"	"	La_{-1}	"	"	"	"	6257	"	"
La_1..	1747	1923	1971	"	2164	"	2585	La_0 .	2548	2683	"	"	2900	2886	"
La_2...	847	924	961	901	980	879	1063	La_1..	1244	1258	1290	1378	1390	1432	"
La_3..	421	453	465	434	466	"	493	La_2..	554	573	596	693	647	666	701
La_4...	"	208	216	206	233	"	242	La_3..	256	"	286	326	283	308	355
"	"	"	"	"	"	"	"	La_4..	"	"	"	160	"	156	"

En partant des principes qui viennent d'être déduits l'expérience, il m'a été possible de déterminer expérimentalement les lois de la distribution de l'élasticité dans corps à plusieurs axes rectangulaires, et même dans plaques présentant des axes obliques, pourvu que ces a soient égaux. Cette dernière étude, qui est terminée, dont j'aurai l'honneur de soumettre très-prochainem les résultats au jugement de l'Académie, a pu être appl quée à divers corps cristallisés, et, enfin, il m'a été po sible de construire artificiellement des verges et des plaqu élastiques se comportant comme celles qui sont cristallisées et qui pourront rendre quelques services à l'enseignement, attendu qu'il est presque impossible de se procurer des plaques cristallines d'une grande dimension.

MÉMOIRE SUR LES CHARBONS DE BOIS ;

PAR M. VIOLETTE,

Commissaire des Poudres et Salpêtres, ancien Élève de l'École Polytechnique.

Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 12 mai 1851.

Dans ce Mémoire, je comprends l'étude des quatre s ries suivantes des charbons de bois.

Première série. — Charbons d'un même bois (le bou daine) préparés à des températures croissantes dep 150 degrés jusqu'au delà de 1 500 degrés centigrades.

Deuxième série. — Charbons d'un même bois (le bou daine), préparés à des températures croissantes, *en v entièrement clos.*

Troisième série. — Charbons de bois différents, prov nant de la fabrication courante des poudreries de Fran

Quatrième série. — Charbons de soixante-quinze espè de bois, tant indigènes qu'exotiques, préparés à la tem rature constante de 300 degrés.

L'étude de chaque série se composera des recherches suivantes :

1°. Préparation des charbons;

2°. Analyse élémentaire des charbons;

3°. Propriétés physiques et chimiques des charbons, telles que pesanteur spécifique, dureté, hygrométricité, conductibilité pour la chaleur, inflammabilité, etc. (ces dernières recherches, non encore terminées, feront l'objet d'un Mémoire faisant suite à celui-ci).

PREMIÈRE SÉRIE.

Charbons d'un même bois préparés à des températures croissantes de 150 *à* 1500 *degrés.*

Préparation des charbons d'un même bois à des températures croissantes. — Le bois de bourdaine a été coupé en fragments cylindriques de $0^m,06$ de longueur et $0^m,01$ de diamètre, de manière à fournir des petites bottes cylindriques composées de vingt brins, pesant 130 à 140 grammes l'une : ces brins ont été pris sur la même baguette autant que possible, ou sur des baguettes de grosseur et d'âge semblables. On a disposé autant de bottes qu'il a été nécessaire de préparer d'échantillons. Ces bottes ont été, l'une après l'autre, séchées à la température de 150 degrés centigrades. A cet effet, on les a soumises pendant deux heures à un courant de vapeur d'eau surchauffée à 150 degrés, dans le même petit appareil qui m'a servi à faire mes premières expériences sur la carbonisation du bois par la vapeur d'eau surchauffée. Cet appareil est décrit dans mon Mémoire en date du 15 mai 1848, que j'ai lu à l'Académie des Sciences dans la séance du 19 juin 1848, et qui a été publié en entier dans les *Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. XXIII, page 475. Je rappelle qu'il se compose d'un petit serpentin en fer surmontant un foyer, et communiquant, d'une part,

avec la chaudière à vapeur, et, d'autre part, avec le cylindre ou cornue métallique servant de récipient au bois; la vapeur qui s'échappe du générateur circule dans le serpentin, s'y chauffe au degré convenable, entre dans le récipient, immerge le bois, exerce sur lui l'action calorique correspondante à la température, et s'échappe au dehors par le tube, en entraînant avec elle les matières volatiles qui se sont dégagées. Je me suis assuré que le séjour du bois pendant deux heures dans la vapeur chauffée à 150 degrés déterminait une dessiccation complète et relative à cette température; car, en prolongeant d'une heure l'exposition à la température susdite, du même bois déjà séché pendant deux heures, on n'a pas fait varier le poids de celui-ci.

J'ai montré, dans un précédent Mémoire en date du 12 juin 1848, présenté à M. le Ministre de la Guerre et M. le Directeur du service des Poudres, que la dessiccation était relative à la température, et qu'à chaque degré thermométrique correspondait le départ d'une quantité fixe et déterminée d'eau.

Carbonisation du même bois à des températures croissantes de 150 *à* 350 *degrés.* — Tous les échantillons ou bottes de bois ayant été séchés à 150 degrés, ont été, dans le même appareil, soumis, l'un après l'autre, pendant trois heures, à un courant de vapeur surchauffée à des températures croissantes de 10 en 10 degrés, depuis 150 jusqu'à 350 degrés, terme au delà duquel il n'a plus été permis de constater la température avec le thermomètre à mercure plongé dans la vapeur. Je rappelle que, dans cet appareil, le maintien de la même température, pendant trois heures, est très-facile, sans variation de plus de 1 à 2 degrés, par l'alimentation constante et régulière du foyer du serpentin et surtout par la manœuvre du robinet d'admission de la vapeur.

Le degré de la carbonisation, ou la quantité de matières volatiles dégagée du bois, est proportionnelle à la tempé-

rature de la vapeur; or je me suis assuré que l'exposition du bois, pendant trois heures, dans l'appareil suffisait, au dégagement des matières relatif à la température employée, c'est-à-dire qu'en exposant pendant une heure de plus, mais à la même température, des bois déjà exposés à cette température pendant trois heures, on n'a pas reconnu de diminution dans le poids. Ainsi la durée de trois heures a suffi à la carbonisation complète de chaque échantillon relative à la température de la vapeur employée.

La vapeur, à son premier contact, agit beaucoup plus énergiquement qu'au delà, c'est-à-dire qu'elle est beaucoup plus active à son entrée dans l'appareil qu'à sa sortie; aussi, pour faire disparaître autant que possible cette différence dans l'homogénéité de la botte de bois carbonisé, ai-je réduit à $0^{m},06$ la longueur de chaque brin, de manière que la différence dans le degré de carbonisation de chaque extrémité du même brin n'a plus été sensible : à l'aide de cette disposition, on a obtenu dans la botte entière des brins de charbon semblablement carbonisés.

La carbonisation étant terminée, on attendait une heure avant d'ouvrir l'appareil, pour qu'à l'aide d'un refroidissement convenable on n'eût pas à redouter l'inflammation à l'air de la botte de charbon qui, encore très-chaude, était introduite immédiatement dans un bocal en verre bien séché et bien fermé avec un bouchon de liége.

Carbonisation du même bois à haute température. — La vapeur surchauffée devenait impuissante pour carboniser le bois à des températures élevées, correspondantes à la fusion des métaux, tels que le cuivre, l'argent, etc., parce que, d'une part, il eût été impossible de lui donner cette température dans un serpentin en fer sans la décomposer, et que, d'autre part, l'appareil eût été certainement détruit. En conséquence, j'ai dû recourir à la carbonisation dans des creusets en terre réfractaire, chauffés dans des foyers ordinaires, et j'ai opéré de la manière suivante :

Les brins de bois de bourdaine, toujours préalablement *séchés à 150 degrés, ont été* coupés en rondelles de $0^{m},01$ *de longueur, qu'on a arrangés* avec soin dans un petit creuset *en terre, de manière* à laisser le moins de vide possible; le *couvercle a été* apposé et luté soigneusement avec de la *terre à porcelaine*, en laissant toutefois une ouverture de $0^{m},001$ environ de diamètre, pour servir d'issue aux matières volatiles. Parmi ces rondelles, on en avait choisi six dans chacune desquelles on avait introduit un petit fragment, de la grosseur d'une forte tête d'épingle, d'un des six métaux suivants : *antimoine, cuivre, argent, or, acier* et *fer*. Le métal était logé dans une petite cavité pratiquée à l'extrémité du brin, et recouvert d'une petite couche de poussière de charbon bien tassé. Les rondelles portant les métaux étaient logées à la moitié de la hauteur du creuset et rangées circulairement le long de la paroi intérieure, afin d'être placées à peu près dans les mêmes conditions de température. Le creuset ainsi garni était mastiqué sur un fromage et placé dans un bon fourneau à calcination, alimenté avec un mélange de charbon de bois et de coke.

On a conduit le feu toujours modérément. Dans les premiers essais, on a cherché à produire la température suffisante à la fusion du métal le plus fusible, puis, dans les essais suivants, on a élevé la température de manière à fondre quelques-uns des autres métaux; enfin, dans la dernière expérience, on a chauffé assez fortement pour faire fondre tous les métaux introduits. C'est par une suite de tâtonnements qu'on est parvenu à obtenir les charbons de bois correspondants à la fusion d'un des métaux sus-dénommés. Si, par exemple, en ouvrant le creuset refroidi on reconnaissait que l'antimoine seul avait fondu, on avait obtenu du charbon produit à une température comprise entre la fusion de l'antimoine et celle du métal supérieur, et on l'inscrivait comme charbon n° 21 (tableau A) produit à la température de la fusion de l'antimoine, c'est-à-

dire à 432 degrés. Si, dans un essai suivant, on constatait que l'antimoine, l'argent, le cuivre et l'or avaient fondu, mais que l'acier et le fer n'avaient pas été mis en fusion, on recueillait le charbon n° 24 (tableau A) fait à la température de la fusion de l'or, c'est-à-dire à 1 250 degrés. C'est ainsi qu'il faut comprendre les dénominations thermométriques que j'ai adoptées. Il est certain que ce procédé ne donne pas des indications de chaleur absolument précises, mais il suffit pour différencier les charbons ainsi produits.

Carbonisation à haute température dans un fourneau à vent. — Le fourneau ordinaire n'ayant pas suffi pour déterminer la fusion du fer, j'ai dû recourir à l'emploi d'un grand fourneau à vent, de $0^{m},30$ de côté et $0^{m},40$ de profondeur, exclusivement alimenté par du coke. Le creuset contenait, outre la charge de bois sec, un clou en fer, dit *pointe*, et un fragment de platine placés dans le fond, mais isolés. Or, après dix heures d'un feu activement maintenu, on a reconnu que le fer avait parfaitement fondu en un culot presque sphérique, mais non point le platine, et l'on a recueilli le charbon n° 26 (tableau A) fait à la fusion du fer, c'est-à-dire à 1 500 degrés.

Carbonisation à haute température dans un fourneau-forge. — Il était intéressant de chercher à produire le charbon correspondant à la fusion du platine, sans doute à la plus haute température qu'il fût possible d'obtenir. Le fourneau à vent était impuissant. J'ai construit alors un fourneau-forge, conseillé par M. Faraday, et alimenté par un fort soufflet de forge. Il se compose de deux grands creusets en plombagine ou graphite *a*, *b*, placés l'un dans l'autre (voyez *Pl. II, fig.* 1). Le creuset intérieur *a* n'a pas de fond, celui-ci a été enlevé avec la scie et remplacé par une grille *c* en terre réfractaire. Des cendres de houille remplissent le vide entre les deux creusets *a* et *b*. La tuyère d'un grand soufflet de forge *f* entre à frottement dans le vide, ou chambre à air, qui existe à la partie inférieure des

creusets, et lance l'air avec violence à travers la grille. Le creuset *e*, assis sur son fromage, est muni d'un couvercle bien luté, avec réserve d'une très-petite ouverture; il est chargé de rondelles de bois bien arrangées, et contient une lame de platine placée dans le fond et pesant $0^{gr},056$; il est disposé dans le centre du fourneau. Le feu est allumé d'abord doucement et lentement, puis activé progressivement jusqu'au maximum de température. La combustion est des plus actives, et, sous le souffle puissant du soufflet, la flamme, environnée de torrents d'étincelles, s'élève en une pyramide brillante jusqu'à près de 1 mètre de hauteur. Après une heure de feu, on a laissé refroidir, puis on a retiré le charbon n° 27 (tableau A) dur comme un métal, parfaitement calciné, sonore, résistant, et un globule de platine parfaitement fondu.

Il s'en faut de beaucoup qu'on ait développé toute la chaleur dont ce fourneau est capable, parce que les creusets en terre les plus réfractaires, ceux de M. Dufay par exemple, s'amollissent et s'affaissent sur eux-mêmes, de manière à couler et à se réduire en une sorte d'épaisse galette. Un creuset en porcelaine de Sèvres a fondu complétement. On a dû conduire le feu de manière à n'obtenir qu'un demi-affaissement du creuset, correspondant néanmoins à la fusion du platine. Il est certain, du reste, que ce charbon a été exposé à une température plus élevée que celle de la fusion du platine, car ce métal était dans le fond du creuset, protégé par le fromage et par le courant d'air froid qui traverse la grille, par conséquent dans une partie relativement plus froide que celle de la partie supérieure où se trouvait le charbon.

DESSICCATION.					CARBONISATION.					
N°s.	POIDS du bois avant la dessiccation.	POIDS du bois après la dessiccation.	PERTE relative au poids du bois desséché.	PERTE pour 100.	TEMPÉRATURE de la carbonisation du bois.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, avant la carbonisation.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, après la carbonisation.	QUANTITÉS de matières volatiles dégagées de 100 part. de bois.	QUANTITÉS de charbon obtenu de 100 parties de bois.	OBSERVATIONS.
	gr	gr	gr		o	gr	gr			
1	129,56	110,00	19,53	15,00	150	114,50	114,50	0,00	100,00	
2	126,40	104,70	21,70	17,17	160	110,00	107,80	2,00	98,00	
3	122,38	105,20	17,18	14,04	170	104,70	99,00	5,45	94,55	Je donne le nom générique de charbon au produit obtenu par l'exposition du bois à une température quelconque.
4	123,20	105,50	17,70	14,36	180	105,20	93,20	11,41	88,59	
5	120,92	107,00	13,92	17,28	190	105,50	86,50	18,01	81,99	
6	127,29	107,60	19,69	15,40	200	107,00	82,50	22,90	77,10	Dans chaque expérience, c'est le même bois séché à 150 degrés qui a été soumis à la carbonisation.
7	123,52	104,00	19,52	15,80	210	107,60	78,70	26,86	73,14	
8	112,87	98,50	14,37	12,73	220	104,00	70,20	32,50	67,50	Tous les charbons, depuis le n° 1 jusqu'au n° 10, sont incuits ou brûlôts.
9	126,40	106,70	19,70	15,58	230	98,50	54,50	44,63	55,37	
10	125,18	108,70	16,48	13,16	240	106,70	54,20	49,21	50,79	
11	138,20	117,80	20,40	14,76	250	108,70	54,00	51,33	49,67	
12	121,49	105,80	15,69	12,91	260	117,80	47,40	59,77	40,23	
					270	105,80	39,30	62,86	37,14	

[Suite.] TABLEAU A. — *De la dessiccation à 150° et de la carbonisation à des températ. croissantes du même bois.*

DESSICCATION.					CARBONISATION.					
N°s.	POIDS du bois avant la dessiccation.	POIDS du bois après la dessiccation.	PERTE relative au poids du bois desséché.	PERTE pour 100.	TEMPÉRATURE de la carbonisation du bois.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, avant la carbonisation.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, après la carbonisation.	QUANTITÉS de matières volatiles dégagées de 100 part. de bois.	QUANTITÉS de charbon obtenu de 100 parties de bois.	OBSERVATIONS.
	gr	gr	gr			gr	gr			
13	130,03	110,60	19,43	14,94	280 [1]	110,60	40,00	63,84	36,16	[1] Charbon très-roux, commençant à être friable; ici commence la série véritable des charbons.
14	128,55	110,00	18,55	14,43	290	110,00	37,50	65,91	34,09	
15	125,12	108,00	17,12	13,69	300	108,00	36,30	66,39	33,61	
16	115,83	101,30	14,53	12,54	310	101,30	33,30	67,13	32,87	
17	113,52	99,30	14,22	12,52	320	99,30	32,00	67,77	32,23	
18	122,20	104,50	17,70	14,48	330	104,50	33,20	68,23	31,77	
19	129,64	111,00	18,64	14,38	340 [2]	111,00	35,00	68,47	31,53	[2] Charbon très-noir, ainsi que les suivants.
20	125,55	104,50	21,05	16,37	350	104,50	31,00	70,34	29,66	
21	103,95	90,45	13,50	12,98	432 [a]	90,45	17,07	81,13	18,87	[a] Fusion de l'antimoine.
22	51,10	44,00	7,10	13,90	1023	44,00	7,50	81,25	18,75	Fusion de l'argent.
23	80,14	69,00	11,14	13,90	1100	69,00	12,70	81,60	18,40	Fusion du cuivre.
24	45,26	39,00	6,26	13,84	1250	39,00	7,00	82,06	17,94	Fusion de l'or.
25	73,75	63,00	10,75	14,60	1300	63,00	11,00	82,54	17,46	Fusion de l'acier.
26	96,69	82,60	14,09	14,60	1500	82,60	14,30	82,69	17,31	Fusion du fer.
27	46,82	40,00	6,82	14,60	Fusion du platine.	40,00	6,90	85,00	15,00	Fusion du platine.

arques sur le rendement en charbon. — Le charbon
30 degrés commence à être friable; il est très-roux,
ammable et le plus propre à la fabrication des poudres
ıe. En deçà de 280 degrés, il est résistant, incuit,
t se rapproche du bois. Au delà de 280 degrés, il prend
te plus foncée, et devient noir à 350 degrés. Dans les
tures très-élevées comprises entre 1 000 et 1 500 de-
ıu delà, le charbon est très-noir, serré, compacte,
stant, très-peu inflammable; à la température de
ı du platine, il se laisse très-difficilement rompre,
endre un son métallique en tombant de haut sur
ɪre, brûle difficilement même dans la flamme d'une
où il rougit comme du fer, en se consumant très-
nt, et s'éteint aussitôt en dehors de la flamme. Ses
tés le rapprochent de l'anthracite le plus pur.

oit le rendement en charbon varier considérable-
ıtre 280 et 1500 degrés, et diminuer de 40 à 15
ıo, c'est-à-dire qu'un poids égal de même bois, car-
.ux deux températures extrêmes ci-dessus énoncées,
ı au delà deux fois plus de charbon dans le premier
dans le second, sans parler ici de l'extrême diffé-
ɜ leurs propriétés physiques et chimiques, que j'exa-
avec soin dans un second Mémoire. Je l'ai dit ail-
t je le répète, ces deux charbons n'ont de commun
ıom, et sont des substances différentes.

emarque bien une diminution progressive dans le
ent en charbon et le départ des matières volatiles,
ɜt à mesure que la température augmente, mais on
pas de loi proportionnelle. Il est probable, néan-
que cette loi existe, et qu'il y a pour le même bois
port entre la température de carbonisation et le
ent en charbon; pour trouver ce rapport, il fau-
ɔérer sur des bois semblables, de même âge, de
ɜxture, de même conformation physique, identiques
ur du ligneux, du coton par exemple, et non point,

comme j'ai dû le faire, sur des brins de bois nécessairem plus ou moins différents, malgré mes soins à les pren semblables.

Influence de l'activité de la carbonisation. — On que, indépendamment de la température, la durée d carbonisation a également de l'influence sur les produ j'ai voulu le constater rigoureusement. A cet effet, j'ai cédé aux deux opérations suivantes :

Carbonisation lente. — J'ai rempli de brins de b daine un creuset en terre, je l'ai muni d'un couvercle avec soin, mais percé au centre d'un petit orifice circul de $0^m,001$ de diamètre. Il a été disposé sur un from introduit dans un fourneau à calcination semblable à c de la *fig.* 1, et chauffé très-lentement et progressivem de manière à ne produire qu'un très-léger dégagemer gaz par l'orifice du couvercle; ce gaz, qui a brûlé stamment, présentait une flamme de $0^m,005$ de hau environ, bleue pâle, et, par conséquent, plus hydrog que carbonée. On avait introduit dans le creuset trois pe boulettes d'argile kaolin, dont chacune renfermait une celle ou d'*antimoine,* ou d'*argent,* ou de *cuivre*. L'opéra a duré six heures, et l'on a reconnu que l'antimoine avait fondu, c'est-à-dire que la carbonisation avait eu à 432 degrés au moins. Le charbon produit est très- bien cuit, sonore, lourd, et présente une texture très-se

Carbonisation rapide. — Le même creuset, mun même couvercle luté, mais dont l'orifice central avai agrandi jusqu'à $0^m,005$ de diamètre, garni des trois lettes d'argile contenant les mêmes métaux que ci-de a été introduit vide dans le même fourneau; on l'a ch et maintenu avec grand soin et avec succès à la même pérature que ci-dessus, puisqu'on a reconnu que l' moine seul avait fondu. Lorsque le creuset a été chau degré voulu, 432 degrés environ, on a jeté, par l'o supérieur, un brin de bourdaine en forme d'allumette

ıe flamme blanche, très-brillante, et, par conséquent, hargée de carbone, a jailli par l'orifice jusqu'à la hau- de $0^m,25$, à l'instar d'une flamme de gaz d'éclairage. ımme ayant disparu, on a projeté un second brin qui duit la même flamme lumineuse, dont on a attendu la rition pour ajouter un nouveau brin de bois, et l'on a nué de la même manière pendant toute l'opération. ıarbon produit est très-léger, très-friable, et s'écrase la moindre pression des doigts.

xaminerai ultérieurement les propriétés physiques de eux charbons qui, quoique faits à la même tempéra- n'ont véritablement de commun que le nom. Voici le ıit de ces deux expériences.

TABLEAU B.

ıATURE de bonisation.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, avant la carbonisation.	POIDS DU BOIS préalablement séché à 150 degrés, après la carbonisation.	QUANTITÉS de matières volatiles dégagées de 100 parties de bois.	QUANTITÉS de charbon obtenu de 100 parties de bois.	OBSERVATIONS.
rbonisa- lente...	432°	90gr,45	17gr,07	81,13	18,87	
rbonisa- ı rapide..	432	69,72	6,25	91,04	8,96	

ans le second cas, on n'a pas retiré la moitié du charbon luit dans le premier cas; on a donc grand avantage, ı la pratique, à conduire la carbonisation aussi lente- ıt que possible pour obtenir le plus grand rendement harbon.

Analyse des charbons.

rocédé d'analyse du charbon. — Parmi tous les pro- s employés pour faire l'analyse des substances orga- ıes, j'ai choisi celui dont se sont servis MM. Dumas

et Stas pour analyser le diamant et déterminer l'équ
du carbone. Leur appareil a subi entre mes mains qu
modifications conseillées par la nature spéciale de n
cherches, c'est-à-dire la détermination des quantité
paratives de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et
existant dans les divers charbons de bois que j'ai pr

Le procédé d'analyse consiste à brûler dans un c
d'oxygène sec et parfaitement pur une quantité déte
de charbon; ce dernier se transforme, 1° en acide
nique qu'on recueille dans des tubes de Liebig con
une solution de potasse caustique; 2° en eau qu'on
dans un tube contenant de l'acide sulfurique; 3° e
gène et azote qu'on ne recueille pas, mais qu'on déte
par la différence des pesées. En multipliant par le coe
0,2727 la quantité d'acide carbonique trouvée,
0,1109 celle de l'eau produite, on trouve, d'une p
carbone, et, d'autre part, l'hydrogène existant d
quantité de charbon soumise à l'analyse.

En raison du nombre considérable d'analyses que
à faire, j'ai voulu remplacer l'oxygène par de l'air
purifié; mais j'ai dû y renoncer après plusieurs essais,
que la grande quantité d'air qui était nécessaire dé
dans les tubes une quantité d'eau très-notable, et
combustion du charbon n'était pas aussi nette et aus
qu'avec l'oxygène.

Description de l'appareil d'analyse. — L'inspect
dessin, *fig.* 2, joint à ce Mémoire, fera comprendre
position complète de l'appareil.

a réservoir contenant de l'eau saturée de chau
partie inférieure est adapté un tube en caoutchouc
robinet, et terminé par un fragment de tube en
c grand flacon en verre de 14 litres de capacité;
muni d'un bouchon de liége mastiqué et traversé
trois tubes en verre *d*, *e'*, *e*. Ce dernier est un tu
caoutchouc terminé par un petit tube formant c

: flacon semblable, auquel sont adaptés le tube en
i et le tube en caoutchouc *j*, muni d'un robinet
ıiné par une petite cloche ou tube en verre *j'*. Le
communique soit avec le flacon *c* en entrant dans
d, soit avec le flacon *f* en entrant dans le tube *i*;
)lit, à volonté, la communication du tube en U *k*
:c le flacon *c* en coiffant l'armature du tube *k* avec
e, soit avec le flacon *f* en coiffant le même tube
tube *j*, ces derniers tubes communiquant entre
une sorte d'armature que je décrirai pour le tube *k*
:mple, *fig.* 3, parce qu'elle est la même pour tous
es. Dans ce tube, on a introduit un bouchon I for-
uvette, qu'on remplit de mercure; au tube *e* est
avec un bouchon de liége, un bout de tube ou-
qui, en plongeant dans le mercure de la cuvette I,
e le tube à l'instar d'une cloche, et établit la com-
tion avec lui. Le flacon *f* contient de l'air, et le
: renferme de l'oxygène avec de l'eau chargée de
Suivent cinq tubes en U, suspendus à la traverse *l*,
is entre eux par des tubes en caoutchouc fixés par
lement d'un léger fil de fer. On introduit dans le
de la potasse caustique, dite *à la chaux*, en gros
ıts légèrement humectés d'eau; dans le tube *m*, des
ıts secs de la même potasse; dans les tubes *n* et *n'*,
rceaux de pierre ponce humectés d'acide sulfurique
tré; dans le tube *o*, des fragments de pierre ponce
ent mouillés du même acide.

)urneau en terre *p* contient un tube en porcelaine
^{m},02 de diamètre et ^{m},65 de longueur, dans le-
introduit, ou une nacelle en porcelaine, ou bien
ne de platine contournée en nacelle *r*, qui repose
me sur une autre lame de même métal *s*, armée
:tit crochet en platine, *fig.* 4 : il y a quelquefois
ıce de la lame métallique *s* avec le vernis de la
ine; aussi la lame *s* sert-elle à protéger la lame *r*,

qui contient le fragment de charbon à analyser, et
ne doit pas changer de poids. Dans le même tube
place de la tournure t de cuivre grillé, ayant pour
de décomposer et convertir en acide carbonique et
soit l'oxyde de carbone, soit l'hydrogène carboné,
pourraient se former au contact de l'oxygène et du char
à analyser. Un petit tampon de terre à porcelaine t',
çonné à rainure, protége le bouchon de liége du tube
et d'autres tampons semblables t'' maintiennent la to
nure de cuivre et protégent le bouchon du tube u.
tube en U u est garni de menus morceaux de po
mouillés d'acide sulfurique; suivent deux tubes à boul
de Liebig, v, x, contenant une dissolution de potasse ca
tique à la chaux, marquant 40 degrés à l'aréomètre
Baumé: les deux tubes suivants, y et z, renferment
fragments de ponce imbibés, le premier y d'une soluti
de potasse caustique, et l'autre z d'acide sulfurique. En
le dernier tube z' renferme des fragments de potasse ca
tique humides.

Les tubes k, m ont pour effet d'enlever à l'oxygène q
sort du flacon e l'acide carbonique, et les tubes n,
l'eau qui a pu échapper aux premiers, de manière que
tube o soit traversé par de l'oxygène parfaitement sec
pur; aussi porte-t-il le nom de *témoin*, parce que son poi
ne doit pas varier dans le courant d'une expérience. L
charbon se transforme, en brûlant dans le tube q, en e
et acide carbonique; or le tube u doit retenir toute l'e
produite, les tubes v et x l'acide carbonique engendr
et le tube y les portions de ce gaz qui peuvent échapp
à l'action des tubes à boules. Quant au tube z, il retie
l'eau que le courant de gaz sec enlève toujours aux tub
précédents. J'ai constaté par une expérience faite dans l'ap
pareil, sans combustion de charbon, que ce transport étai
environ de 15 à 20 milligrammes dans les tubes y et z;
enfin le dernier tube z' empêche que l'air extérieur, en-

ant accidentellement dans les tubes y ou z, en augmente poids.

L'oxygène est obtenu par la calcination, dans une corne de fonte chauffée au rouge sombre, du chlorate de potasse mélangé de son poids de sable sec; l'addition de ce rnier corps facilite singulièrement la décomposition de sel. Le gaz est lavé dans un flacon contenant de l'eau, ant de passer par le tube i dans le flacon c; un siphon i' en verre permet à l'eau saturée de chaux, qui mplit le flacon, de s'échapper pour laisser place à oxygène.

La pierre ponce a été calcinée au rouge, avec de l'acide lfurique, avant d'être employée; enfin l'acide sulfurique été purifié et concentré, par distillation convenable, de anière à marquer 66 degrés à l'aréomètre de Baumé.

Manière de procéder à l'analyse. — On commence r prendre sur une excellente balance de Deleuil, pent facilement un demi-milligramme, la tare des tubes , u, v, x, y, z, préalablement garnis comme il convient; chaque tare, composée de fragments de plomb, t déposée dans une petite capsule en cuivre numérotée, isant elle-même partie de la tare, et qu'on place sous enveloppe vitrée de la balance. Le fragment de charbon t retiré du flacon dans lequel il a été enfermé encore haud au sortir de l'appareil de carbonisation. Il est déosé avec des pinces sur la lame de platine ou la nacelle en orcelaine v, dont on a pris antérieurement la tare, et ui est elle-même introduite dans un gros tube de verre rmé par un bout, et dont la tare est connue; cette derière précaution a pour but de soustraire le charbon au ontact de l'air, pendant la pesée, parce qu'en raison de sa propriété éminemment hygrométrique, il absorberait imanquablement l'humidité de l'air extérieur. Le tube de rre contenant la nacelle avec le charbon est donc placé

sur le plateau en platine de la balance, et le poids du ch
bon inscrit avec soin. On laisse sous l'enveloppe vitré
la balance le tube de verre garni, mais de plus fermé a
un bouchon de liége.

Cela fait, on chauffe au rouge la partie du tube en p
celaine dans laquelle se trouve la tournure de cuivre,
garantissant avec une lame de tôle servant d'écran, tout
reste du tube; on ouvre ensuite le tube de porcelain
on introduit la nacelle de platine contenant le charb
dans la partie antérieure et non rougie, on ferme le tu
on lute le bouchon, et l'on établit aussitôt le cour
d'oxygène en ouvrant le robinet du tube *b* plongeant d
l'armature du tube *c*, afin que le gaz qui circule cha
devant lui, vers l'oxyde de cuivre rouge, les matières v
latiles que le rayonnement de la chaleur dégage immédi
tement du charbon : sans cette précaution, ces fumées
répandraient à l'amont du charbon et noirciraient le tu
Le courant gazeux étant établi, on enlève l'écran de t
et l'on porte des charbons rouges près du charbon.
fragment de charbon placé dans la nacelle s'enflam
promptement, et l'éclat qu'il émet s'aperçoit fort bien
travers l'épaisseur du tube en porcelaine. A ce mome
les bulles d'oxygène, d'abord mêlées de beaucoup d'a
qui barbotaient dans les tubes à boules ν, x, cessent d'
giter le liquide parce qu'elles sont absorbées; aussi la te
pérature du liquide s'élève et atteint la chaleur de 40
50 degrés. Lorsque la combustion du charbon est termin
les bulles gazeuses agitent de nouveau le liquide des tub
à boules, et l'on surveille, en approchant de l'extrémi
ouverte du tube z' une corde d'étoupes en ignition, l'i
stant où l'oxygène s'échappe de l'appareil et enflamme l'
toupe. A ce moment on arrête le courant d'oxygène
on le remplace immédiatement par un courant d'air,
faisant communiquer le réservoir *a* avec le flacon *f*. L

quantité d'oxygène qui reste dans l'appareil, chassé par l'air, suffirait pour terminer la combustion, si elle n'était pas achevée.

Le courant d'air est maintenu pendant cinq minutes pour chasser les dernières portions d'oxygène et en purger les tubes. Le courant d'oxygène dure pendant dix minutes environ, et sa dépense est de 3 à 4 litres, pour brûler 5 à 6 décigrammes de charbon, quantité ordinairement soumise à l'analyse.

On retire avec soin la nacelle, qu'on introduit aussitôt dans le gros tube en verre, et qui est portée sur la balance. On remarque dans la nacelle une petite masse de cendres, toujours bien purgée de charbon, soit blanche, soit colorée; tantôt légère, poreuse, conservant presque la forme du charbon, et tantôt fondue lorsqu'elle est très-alcaline. On constate que le tube o n'a pas changé de poids, et les tubes u, v, x, y et z sont successivement pesés et donnent, par la différence des poids primitifs et à l'aide des calculs énoncés, les quantités de carbone et d'hydrogène contenues dans le charbon analysé.

Analyse des charbons du même bois, préparés à des températures croissantes. — Le tableau suivant présente tous les détails des analyses des charbons de la première série. Je rappelle que tous les échantillons sont privés d'eau hygrométrique, puisqu'ils ont été enfermés chauds, dans un bocal de verre, immédiatement après la carbonisation. Les analyses ont toujours été au moins doubles sur le même échantillon, et n'ont été admises que lorsque les résultats ont été presque identiques. Cette mesure a été générale pour toutes les analyses ultérieures. La double analyse porte toujours sur chaque moitié d'un même brin de charbon, afin d'opérer, dans ce double cas, sur une substance aussi homogène que possible.

TABLEAU C. — *De la composition moyenne des charbons du m préparés à des températures croissantes.*

N°s.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES trouvées dans 100 parties de charbon. Carbone.	Hydrogène	Oxygène, azote et perte.	Cendres.	OBSERVATION
1	150°	47,5105	6,1200	46,290	0,080	Je donne le nom géné
2	160	47,6055	6,0645	46,271	0,085	bon au produit obtenu
3	170	47,775	6,195	45,9535	0,098	tion du bois à une temp
4	180	48,936	5,840	45,123	0,117	conque.
5	190	50,6145	5,115	44,0625	0,2215	
6	200	51,817	3,9945	43,976	0,2265	
7	210	53,3735	4,903	41,538	0,200	Tous ces charbons so
8	220	54,570	4,1505	41,3935	0,217	soit encore bois, soit fi
9	230	57,1465	5,508	37,047	0,3145	
10	240	61,307	5,507	32,7055	0,515	
11	250	65,5875	4,810	28,967	0,632	
12	260	67,8905	5,038	26,4935	0,5595	
13	270	70,4535	4,6415	24,192	0,8555	Charbon très-roux, d
						être pulvérisable, émit
						venable pour poudre d
14	280	72,6395	4,705	22,0975	0,568	
15	290	72,494	4,981	21,929	0,610	
16	300	73,236	4,254	21,962	0,569	
17	310	73,633	3,8295	21,8125	0,744	
18	320	73,5735	4,8305	21,086	0,5185	Série décroissante
19	330	73,5515	4,626	21,333	0,4765	roux, convergeant ve
20	340	75,202	4,4065	19,962	0,4775	noire.
21	350	76,644	4,136	18,4415	0,613	Charbon très-noir, air
						vants, et convenable p
						de guerre.
22	432[a]	81,6435	1,961	15,2455	1,1625	[a] Fusion de l'antimoine
23	1023	81,9745	2,2975	14,1485	1,5975	Id. de l'argent.
24	1100	83,2925	1,702	13,7935	1,2245	Id. du cuivre.
25	1250	88,1385	1,415	9,2595	1,199	Id. de l'or.
26	1300	90,811	1,5835	6,4895	1,1515	Id. de l'acier.
27	1500	94,566	0,7395	3,8405	0,664	Id. du fer.
28	Au delà de 1500	96,517	0,6215	0,936	1,9455	Id. du platine.

Remarques sur les résultats des analyses des charbons précédents. — L'examen du tableau précédent donne lieu aux remarques suivantes :

La quantité de carbone que renferment les charbons augmente avec la température de la carbonisation; néanmoins la plus haute chaleur qu'il a été possible de produire, celle de la fusion du platine, n'a pas suffi pour retirer du carbone pur de la calcination du charbon.

Analyse des charbons faits lentement ou rapidement. — Nous avons déjà signalé la différence considérable que la durée de la carbonisation apporte dans le rendement en charbon; les analyses des produits obtenus dans les deux opérations signalées dans le tableau B présentent aussi une notable différence dans la teneur en carbone.

TABLEAU D.

NATURE de la carbonisation.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES trouvées dans 100 parties de charbon.				OBSERVATIONS.
		Carbone.	Hydrogène	Oxygène, azote et perte.	Cendres.	
Carbonisation lente...	432°	82,106	2,190	14,849	0,955	
Carbonisation rapide..	432	79,589	2,169	15,736	2,506	

On remarque une différence de $2\frac{1}{2}$ pour 100 de carbone entre les deux charbons. On comprend en effet que, par la brusque application de la chaleur, le carbone se trouve entraîné soit à l'état de combinaison, soit à l'état moléculaire sous forme de suie ou goudron. Ce n'est pas sans raison que dans la fabrication du gaz d'éclairage, qui n'est qu'une distillation très-rapide, on introduit la houille dans une cornue incandescente, afin d'obtenir des produits plus carbonés. J'assimilerais volontiers à une carbonisation rapide

le mode de carbonisation en chaudière pratiquée dans les poudreries, comme je le dirai plus loin, ce qui serait une nouvelle preuve de l'infériorité de ce procédé; car, dans ce dernier cas, il s'agirait au contraire de produire la plus grande quantité de charbon, et d'en atténuer autant que possible la perte avec le départ des matières volatiles.

Remarques sur la décomposition du bois par la chaleur. — La carbonisation, envisagée comme opération chimique, a pour effet de déterminer la décomposition du bois par la chaleur et sans le contact de l'air. Or, dans cette décomposition, il se fait un véritable départ entre le carbone et les gaz qui constituent le bois, sans séparation complète néanmoins de l'un et de l'autre. Le carbone se partage en deux parties variables, dont l'une reste avec une certaine quantité de gaz dans le récipient, et l'autre s'échappe au dehors avec le reste des substances gazeuses. Le tableau suivant représente ces phénomènes dans une disposition qui les rend plus remarquables, en indiquant, d'un côté, la composition du charbon, et, de l'autre, celle des matières volatilisées, dans la carbonisation de 100 parties de bois préalablement séché à 150 degrés.

Tableau E. — *Des produits de la décomposition du bois par la chaleur ou la carbonisation.*

Température de la carbonisation.	Produits de la décomposition du bois par la carbonisation.					Total général des produits.
	Matières solides ou charbon restant dans le récipient pour 100.			Matières volatilisées et entraînées pour 100.		
	Carbone.	Gaz.	Cendres.	Carbone.	Gaz.	
150°	47,51	52,41	0,08	"	"	100
160	46,66	51,26	0,08	0,85	1,15	100
170	45,18	49,28	0,09	2,33	3,12	100
180	43,36	45,12	0,11	4,15	7,26	100
190	41,50	40,31	0,18	6,01	12,00	100
200	39,95	36,97	0,18	7,56	15,34	100
210	39,03	39,96	0,15	8,48	18,38	100
220	36,83	30,51	0,16	10,68	21,82	100
230	31,64	23,56	0,17	15,87	28,76	100
240	31,14	18,39	0,26	16,37	32,84	100
250	32,58	16,78	0,31	14,93	35,40	100
260	27,31	12,69	0,23	20,20	39,57	100
270	26,17	10,65	0,32	21,34	41,52	100
280	26,27	9,68	0,21	21,24	42,60	100
290	24,71	9,17	0,21	22,80	43,11	100
300	24,62	8,80	0,19	22,89	43,50	100
310	24,20	8,43	0,24	23,31	43,82	100
320	23,71	8,35	0,17	23,80	43,97	100
330	23,37	8,25	0,15	24,14	44,09	100
340	23,71	7,68	0,14	23,80	44,67	100
350	22,73	6,75	0,18	24,78	45,56	100
432	15,40	3,25	0,22	32,11	49,02	100
1023	15,37	3,12	0,30	32,14	49,11	100
1100	15,32	2,86	0,22	32,19	49,41	100
1250	15,81	1,91	0,22	31,70	50,36	100
1300	15,86	1;40	0,20	31,65	50,89	100
1500	16,37	0,83	0,11	31,14	51,55	100
Au delà de 1500	14,48	0,23	0,29	33,03	51,97	100

Le tableau précédent donne lieu aux observations suivantes :

1°. Le bois, exposé en vase presque clos, à une température quelconque, donne un produit fixe appelé *charbon*,

qui retient toujours des gaz en combinaison ; cette quantité de gaz varie avec la chaleur employée dans la carbonisation: entre 150 et 200 degrés, le charbon retient environ un poids de gaz égal au sien, à 250 degrés la $\frac{1}{2}$, à 300 degrés le $\frac{1}{3}$, à 350 degrés le $\frac{1}{7}$, à 400 degrés le $\frac{1}{20}$, et à 1500 degrés un peu plus de $\frac{1}{100}$ de son poids en gaz.

2°. Les matières volatilisées dans l'acte de la carbonisation entraînent toujours du carbone en quantité considérable; elles se composent de carbone et de gaz dont la composition est extrêmement remarquable; car on y trouve, entre 150 et 350 degrés, environ 1 de carbone pour 2 de gaz ; et de 350 à 1500 degrés environ, 1 de carbone pour $1\frac{1}{2}$ de gaz. Cette composition est bien différente de celle de la substance fixe restée dans le récipient sous le nom de charbon, dans lequel, au contraire, on voit décroître considérablement la quantité de gaz retenue.

3°. Dans la carbonisation, le bois abandonne son carbone qui se divise en deux parties inégales et variables avec la température, dont l'une reste dans le charbon et l'autre s'échappe avec les matières volatiles. La quantité de carbone qui s'échappe croît avec la température ; à 200 degrés elle est le $\frac{1}{5}$, à 250 degrés elle est la $\frac{1}{2}$, entre 300 et 350 degrés elle est égale à celle qui reste dans le charbon, et entre 400 et 1500 degrés elle en est le double.

DEUXIÈME SÉRIE.

Charbons obtenus par l'exposition en vase entièrement clos du même bois à des températures croissantes.

Préparation des charbons obtenus par l'exposition en vase clos du même bois à des températures croissantes. — Il m'a paru curieux de chercher à carboniser du bois en vase entièrement clos, sans laisser se dégager aucun des produits volatiles, et de soumettre à l'examen ce nouveau produit

obtenu à des températures successivement croissantes. A cet effet, j'ai préparé une série de brins de bois de bourdaine, préalablement séchés à 150 degrés, et pesant chacun 1 gramme; j'ai introduit chacun d'eux dans un tube de verre épais, dont j'ai fermé les deux bouts à la lampe d'émailleur, en laissant le moins d'air possible enfermé et faisant en sorte que le bois occupât la presque totalité de la capacité intérieure du tube, *fig.* 5. Ce n'est pas sans peine que j'ai acquis assez d'habileté pour enfermer ainsi chaque brin de bois dans un tube hermétiquement fermé. Chacun de ces tubes a été introduit successivement dans le petit appareil qui m'a servi à faire les précédentes carbonisations et soumis pendant trois heures à un courant de vapeur d'eau surchauffée à des températures croissantes de 10 en 10 degrés, depuis 150 jusqu'à 350 degrés. Chaque essai, fait à une température déterminée, se composait de quatre tubes enfermés chacun dans un étui métallique, afin que la rupture fréquente de l'un d'eux dans l'appareil ne déterminât pas celle du tube voisin. Sur quatre tubes, deux ou quelquefois trois résistaient parfaitement, tandis que les autres, brisés, et dont un bruit violent annonçait la rupture dans l'appareil, étaient réduits en poudre très-fine dans l'intérieur de leur étui; la rupture a été plus fréquente dans les essais faits aux températures plus élevées, comprises entre 300 et 350 degrés.

Les tubes non brisés offrent l'aspect suivant: ils sont transparents et laissent voir le brin de bois carbonisé, et 1 centimètre cube environ d'un liquide quelquefois limpide et très-légèrement coloré en jaune, et le plus souvent blanc laiteux et opaque, que nous examinerons ultérieurement.

L'ouverture de ces tubes, dans lesquels étaient comprimés des gaz et des liquides à une pression sans doute énorme, m'a offert de grandes difficultés, parce que je voulais conserver les liquides et les solides intérieurs, pour les peser d'abord, puis les examiner et les analyser. En brisant dans

l'air l'extrémité même la plus aiguë du tube enveloppé d'un linge épais, on déterminait une violente détonation, semblable à celle d'un coup de pistolet, qui pulvérisait le tube, le réduisait en fine poussière, brisait le charbon qu'elle projetait en parcelles tenaces, et dispersait en même temps tout le liquide. J'ai essayé de briser le tube sous l'eau, sous le mercure, mais je n'ai réussi qu'à atténuer le bruit de l'explosion sans pouvoir conserver entières les substances intérieures. Enfin, le moyen suivant m'a parfaitement réussi : en plongeant dans la flamme de la lampe à esprit-de-vin la pointe effilée du tube fermé, celle-ci s'amollit, cède peu à peu, et finit par s'ouvrir en une fissure imperceptible, qui laisse échapper en sifflant un jet ténu de gaz, mais en conservant parfaitement intacts charbon et liquide intérieurs, faciles dès lors à retirer et à peser. Pour évaluer le poids de ces substances, on a opéré ainsi : en pesant, avant et après son ouverture à la lampe, le tube contenant les matières, on a constaté la quantité de gaz échappée, et par conséquent produite. En desséchant ensuite le même tube à 150 degrés, dans un courant de vapeur d'eau surchauffée, on a obtenu par la perte de poids la quantité des matières liquides engendrées. Enfin, le complément à l'unité, des deux pesées précédentes, a fourni la quantité de la matière solide ou charbon produit par 1 gramme de bois, quantité soumise à à la carbonisation.

Je signale ici un fait curieux : le verre, qui a toujours conservé sa transparence avant et après la carbonisation, étant ensuite légèrement chauffé dans la flamme, devient opaque, et se couvre intérieurement d'une couche blanche, adhérente, semblable à un véritable émail, qui n'est autre, sans doute, qu'une couche épaisse de silice, provenant de la décomposition du verre ; celui-ci a été profondément altéré par les gaz et les liquides produits, dont l'action décomposante a été facilitée par l'énorme pression intérieure.

.U F. — *De la carbonisation en vase entièrement clos et à des températures croissantes du bois de bourdaine.*

MPÉRATURE de arboni-ation.	QUANTITÉ de bois soumis à la carboni-sation.	POIDS APRÈS LA CARBONISATION			APPARENCES DU CHARBON OBTENU.
		du charbon.	des liquides.	des gaz.	
	gr	gr	gr	gr	
160°	1	0,974	0,016	0,010	Le bois a roussi et le tube est très-légèrement coloré en brun.
	1	0,980	0,010	0,010	
180	1	0,930	0,020	0,050	Charbon roux. friable, traçant le papier; le tube est tapissé d'une foule de gouttelettes de goudron roux.
	1	0,932	0,018	0,050	
200	1	0,877	0,023	0,100	Charbon traçant le papier et conservant la texture ordinaire du charbon. Tube très-coloré par dépôt de goudron.
	1	0,874	*0,026	0,100	* Cassé.
220	1	0,843	0,027	0,130	Charbon noir d'apparence ordinaire, traçant le papier.
	1	0,864	0,016	0,120	
240	1	0,830	0,020	0,150	Charbon noir, d'apparence ordinaire, traçant le papier.
	1	0,825	0,025	0,150	
260	1	0,825	0,025	0,150	Charbon noir, couvert de bulles de goudron fondu, trace très-difficilement le papier.
	1	0,828	0,022	0,150	
280	1	0,838	0,012	0,150	Charbon noir, très-dur, éraillant le papier, sans le tracer; apparence d'une substance qui commence à fondre.
	1	0,827	0,023	0,150	
300	1	0,786	0,034	0,180	Substance noire, fondue, caverneuse, fortement attachée au tube, ne présente plus trace de texture ligneuse.
	1	0,783	0,037	0,180	
320	1	0,787	0,013	0,200	Substance noire, luisante, complétement fondue, affaissée sur elle-même; apparence caverneuse, entièrement semblable à de la houille frittée.
	1	0,787	0,013	0,200	
340	1	0,791	0,009	0,200	Subst. semblable à de la houille grasse fondue; elle a coulé dans le tube, de manière à s'y attacher fortement, en le remplissant.
	1	0,785	0,015	0,200	

La pression considérable qui a réagi sur les élément bois a profondément modifié les produits de la carbon tion. Les matières volatilisées, ou mieux éliminées, du b n'ont plus entraîné qu'une faible quantité de carbone, est restée en grande partie à l'état solide, sous la form charbon. Au reste, cette observation deviendra plus rem quable encore par le tableau suivant, indiquant le re ment en charbon dans la carbonisation pratiquée, soit procédé ordinaire (tableau A), soit dans un vase enti ment clos.

TABLEAU G.

TEMPÉRATURE de la carbonisation.	RENDEMENT POUR 100 EN CHARBON,	
	Du bois carbonisé par le procédé ordinaire, suivant le tableau A.	Du bois carbonisé en vase entièrement clo suivant le tableau F.
160°	98,00	97,4
180	88,59	93,0
200	77,10	87,7
220	67,50	86,4
240	50,79	83,0
260	40,23	82,50
280	36,16	83,8
320	31,77	78,7
340	29,66	79,1

Remarques sur les charbons du même bois préparé vase clos. — Les apparences de ce nouveau charbon les plus singulières :

1°. A la température de 180 degrés on a obtenu du c bon très-roux, très-friable, entièrement semblable, qua ses propriétés physiques, au charbon roux qui ordina ment exige une chaleur de 280 degrés. Je dis *quant à propriétés physiques;* car, quant aux propriétés chimiq on verra dans le tableau H que la composition de ces c charbons est très-différente, et que ce nouveau cha

lère assez peu du bois sous le rapport de ses élé-
nstitutifs : c'est véritablement encore du bois dont
ır, aidée d'une pression considérable, a modifié la
hysique, de manière à lui donner les propriétés
s du charbon. S'il était possible de trouver un ap-
ui pût carboniser en grand de cette manière, on
un grand service à l'Administration des Poudres et
s, parce que ce nouveau procédé fournirait, avec
grammes de bois, 93 kilogrammes de charbon roux,
le 35 à 40 kilogrammes seulement que produisent
édés les plus parfaits.

. la température de 300 degrés et au delà, le bois
ellement en fusion, au point de s'affaisser sur lui-
en s'agglutinant au tube, auquel il adhère très-for-
Refroidi, il est luisant, miroitant, caverneux,
sant, entièrement semblable à de la houille grasse
On le croirait changé en une véritable houille.
tite opération du laboratoire ne donnerait-elle pas
lication plausible de la formation des combustibles
ix? Puisque le bois, soumis à la faible chaleur de
rés, mais en vase clos, prend toute l'apparence de la
ne peut-on pas admettre que des amas considé-
e bois, ensevelis jadis sous des couches épaisses de
de transport ou de transition, se trouvant expo-
ne circonstance quelconque, par exemple une fis-
ofonde vers les parties centrales et plus chaudes de
, à une chaleur de 180 degrés, aient subi une véritable
sation, mais en vase entièrement clos dont les ter-
ıpérieurs représentaient le couvercle, et se soient
eu changés, soit en lignite, soit en anthracite, soit
lles d'autres espèces.

TABLEAU H. — *De la composition moyenne des charbons, vase entièrement clos et à des températures croissan*

NUMÉROS.	TEMPÉRATURE de la carbonisation.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES TROUVÉES DANS 100 PA DE CHARBON.			
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et perte.	C
1	160°	49,0175	5,3045	45,5325	o
2	180	56,5235	6,1880	37,0940	o
3	200	61,0420	5,2470	33,4270	o
4	220	66,4185	4,9830	28,0150	o
5	240	67,1340	5,1675	25,9230	1
6	260	67,6215	5,0995	25,2580	2
7	280	64,6010	5,4245	26,7680	3
8	300	67,5760	4,5655	27,3270	o
9	320	65,6185	4,7600	25,5425	4
10	340	77,0705	4,7065	14,0415	3

Je terminerai cette série par une dernière remai
les cendres. On ne voit pas, sans étonnement, que c
bons, de 260 à 340 degrés, contiennent 3 et 4 p
de cendres, au lieu de $\frac{1}{2}$ pour 100 qu'on trouve
charbons faits aux mêmes températures et par les
ordinaires (*voyez* le tableau C). Ce fait est ce
très-vrai, hors de doute; car, dans l'analyse, le
a été parfaitement brûlé, et n'a laissé qu'un résid
blanc, entièrement dépouillé de carbone. Il faut
mettre que, dans les procédés ordinaires de carbo
les matières qui se séparent par volatilisation enlè
viron 3 pour 100 de substances minérales, chaux
potasse, etc., etc., soit par entraînement mécaniq
l'état de combinaison avec l'hydrogène, analogue
posés connus, hydrogène potassié, arsénié, carb

(Les propriétés physiques et chimiques seront e
dans un second Mémoire.)

TROISIÈME SÉRIE.

Charbons des poudreries.

Préparation des charbons des poudreries. — J'ai reçu s poudreries d'Angoulême, du Bouchet, de Metz, de Saint-hamas, de Saint-Médard, de Saint-Ponce et de Vonges, s charbons de différents bois préparés dans ces divers éta-issements par les procédés ordinaires, soit par étouffe-ent dans des chaudières ouvertes, soit par distillation du ois dans des cylindres en fonte. Ces divers charbons, réunis n petites bottes comme les précédents, ont été, par les èmes moyens, successivement séchés à la température de 5o degrés, et soumis ultérieurement à l'analyse. J'y ai ompris également le charbon obtenu à Esquerdes par im-ersion du bois dans la vapeur d'eau surchauffée dans l'ap-areil construit à cet effet, et qui alimente la fabrication s poudres de chasse.

Les charbons ci-dessus contiennent 6,5 à 7,5 pour 100 eau. Conservés pendant plusieurs mois dans les magasins la poudrerie d'Esquerdes, il est probable qu'ils ont ab-orbé l'humidité afférente à l'état hygrométrique de l'air ans cette localité, et il serait possible que cette humidité e fût pas réellement celle qu'ils retiennent normalement n fabrication courante dans chaque poudrerie. Cette ob-ervation n'a d'autre but que de prévenir l'idée de généra-iser un fait qui n'est peut-être qu'accidentel.

Charbons de bois faits dans des chaudières. — Dans des haudières en fonte hémisphériques de $1^{m},20$ de diamètre t 84 centimètres de profondeur, enterrées jusqu'au niveau u sol, on jette quelques poignées de bois préalablement al-umé, qu'on a soin de recouvrir par des additions successives u même bois, de manière à étouffer, autant que possible, a flamme, au fur et à mesure qu'elle se produit. Lorsque a chaudière est remplie, on la recouvre d'un couvercle en fonte, percé de quelques petits orifices par lesquels s'échap-

pent les derniers produits volatils. On retire de 100 grammes de bois, à l'état ordinaire d'humidité, 20 pou environ de charbon noir.

Analyse des charbons des chaudières.

On a procédé à leur analyse, comme il a été dit ci-d

TABLEAU I. — *De la composition moyenne des charbons d faits dans les chaudières.*

SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES TROUVÉES DANS 100 PARTIES DE CHARBON.				NOM DE LA POUDRER
Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et perte.	Cendres.	
81,028	3,2398	14,981	0,7802	Angoulême.
73,961	3,0190	22,575	0,475	Bouchet.
80,304	3,6140	15,1437	0,9425	Metz.
74,894	3,6190	21,0242	0,475	Saint-Chamas.
79,928	3,1886	16,0259	0,8685	Saint-Médard.
81,067	3,0022	15,0250	0,9125	Saint-Ponce.
76,010	2,9821	19,8646	1,641	Vonges.
83,034	3,421	12,096	1,446	Esquerdes.

L'examen du tableau précédent, et d'autres analyse je ne rapporte pas ici, présentent plusieurs faits ressants :

1°. Dans la même carbonisation, les charbons son d'être semblables; on y rencontre le charbon roux pour 100 de carbone, et le charbon noir à 85 pour 1 carbone. Le charbon qui occupe le milieu de la chau est plus cuit, plus riche en carbone que celui du fond la surface; entre le fond et la surface, les charbons o également des variations.

2°. Dans les diverses poudreries, la compositio charbons est loin d'être la même, puisque la tene carbone varie de 73 à 83 pour 100 en moyenne.

ent alors des poudres de chasse, ou de guerre, ou de ine, faites dans ces divers établissements, peuvent-elles re semblables, donner les mêmes portées, lorsque, mal- ré un dosage numérique égal et réglémentaire, elles n'ont le même dosage réel? A quoi bon rechercher avec tant de in la pureté et l'identité du salpêtre et du soufre, lorsque charbon peut présenter des différences de 10 pour 100 au oins dans sa pureté? En réalité, les deux poudreries qui mploient le charbon roux à 70 pour 100 de carbone, et le arbon noir à 85 pour 100 de carbone, dans la fabrica- on des mêmes poudres, comme cela arrive maintenant, e se servent pas du même dosage, et fabriquent la poudre vec des éléments très-différents : il importe donc de mo- ifier ou de changer ce procédé de carbonisation, et de le emplacer par un autre procédé qui donne des charbons dentiques.

Charbons de bois obtenus par distillation du bois dans des cylindres en fonte. — Dans un cylindre en fonte de 65 centimètres de diamètre et $1^{m},10$ de longueur, horizon- alement placé sur un foyer, on introduit environ 60 kilo- grammes de bois. Par l'action du foyer inférieur, le bois perd peu à peu ses produits volatils et se convertit en une masse de charbons divers, noirs, roux et incuits; on retire ordinairement de 100 kilogrammes de bois, 30 à 33 kilo- grammes de ces charbons, dont le tiers environ de charbon roux, qui servent ordinairement à la fabrication des pou- dres de chasse

TABLEAU J. — *De la composition moyenne des charbons ob par distillation du bois dans des cylindres en fonte.*

N^os.	QUANTITÉ DANS 100 PARTIES DE CHARBON.				NOM de la poudrerie	OBSERVATIC
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et perte.	Cendres.		
1	71,1805	2,521	25,9855	0,3085	Bouchet.	Pour cha extra-fin
2	74,011	2,6465	22,3475	0,513		Pour chasse
3	70,3765	2,655	26,4955	0,4815	Angoulême.	
4	72,090	4,341	22,7105	0,873	Esquerdes.	Pour cha extra-fin
5	75,664	3,382	20,2225	0,7855		Pour chasse

Dans ce mode de carbonisation, on produit à la foi charbon roux à 70 pour 100 de carbone, et du charbon à 84 pour 100; et ces différences démontrent à la fois le de ce procédé, et la nécessité de le modifier.

Charbons obtenus par immersion du bois dans la va d'eau surchauffée. — Le grand appareil qui sert à prod le charbon par l'immersion du bois dans la vapeur d surchauffée, a été décrit dans mon Mémoire en dat 15 mai 1848, déjà précité. Il alimente exclusivement l brication des poudres de chasse. Les n°s 1, 2, 3 et 4 d bleau L sont des échantillons de charbon roux pris s fabrication courante. De 100 kilogrammes de bois, à l ordinaire d'humidité, on retire 35 à 40 pour 100 de cha roux. J'estime que, dans cet appareil, la température fisante pour produire le charbon roux pour la poudr chasse est d'environ 280 degrés. J'ai cherché à dépasser dernière limite pour obtenir des charbons plus cuits, voisins de ceux faits dans les chaudières; et les n°s 5 et tableau L représentent ces échantillons, qui sont l comme on le voit, d'atteindre la teneur en carbone d derniers charbons. Dans ce dernier cas, il a été impos

d'obtenir moins de 29 pour 100 de charbon de 100 parties de bois.

Je voyais avec regret que la vapeur d'eau ne pouvait être suffisamment chauffée, dans les conditions d'établissement du grand appareil, pour produire des charbons plus noirs, plus cuits, plus riches en carbone, lorsque je songeai à recommencer mes expériences dans le petit appareil d'essai décrit dans mon Mémoire du 15 mai 1848, en ajoutant un foyer spécial sous la cornue ou récipient du bois, de manière que le serpentin et la cornue eussent chacun leur foyer particulier. J'espérais qu'il était possible de faciliter le départ des parties volatiles du bois par une addition de chaleur, c'est-à-dire en chauffant plus ou moins le récipient du bois, indépendamment du chauffage de la vapeur. Mes prévisions ont été réalisées, comme l'atteste le tableau suivant :

TABLEAU K.

NUMÉROS des expériences.	POIDS du bois (bourdaine) avant la carbonisation.	POIDS du bois après la carbonisation.	QUANTITÉ de charbon retirée de 100 parties de bois.	OBSERVATIONS.
	k	k		
1	0,550	0,155	28,18	En chauffant la vapeur seulement.
2	0,550	0,160	29,09	
3	0,550	0,165	30,00	
4	0,550	0,107	19,45	En chauffant à la fois la vapeur et le récipient du bois. Nota. Avant la carbonisation, le bois avait été séché à 150 degrés.
5	0,550	0,108	19,09	
6	0,550	0,110	20,00	

On voit qu'en chauffant la vapeur seulement, on a obtenu, au plus, 30 pour 100 de charbon ; tandis qu'en chauffant à la fois serpentin et récipient de bois, on a retiré seulement 19 pour 100 de charbon, rendement analogue à celui obtenu du bois carbonisé à la température de 1 200 de-

grés environ (*voyez* le tableau A). Cependant la tem
rature, développée dans les trois essais ci-dessus, a été
même, et n'a pas dépassé 442 degrés, puisqu'un grain d'
timoine, placé dans l'appareil, n'a pas fondu.

Je signale donc ici ce fait important, savoir : que le b
soumis à un courant de vapeur chauffée dans un récipie
également chauffé, mais dans lequel la température n'a p
dépassé 450 degrés, a été aussi profondément carbonis
aussi dépouillé de ses produits volatils que s'il eût été chau
à 1 200 degrés, au rouge-blanc, dans un creuset. Dans
cas, la vapeur a joué le double rôle d'agent calorifique et d
gent mécanique, et elle a agi plus énergiquement, non p
en raison d'un accroissement de température, car, comm
je m'en suis assuré, la quantité de combustible dépensée
été beaucoup moindre pour le même résultat; elle a simpl
ment facilité le départ des matières volatiles, comme
vent chaud hâte l'évaporation de l'eau, en renouvelant l
vapeurs qu'il entraîne.

Les nos 5 et 6 du tableau L représentent les analyses
charbon no 3 du tableau K, et les nos 7 et 8 celles du cha
bon no 6 du même tableau. Ces derniers charbons ont
même titre en carbone que ceux faits à la température
1 250 degrés (*voyez* le tableau C). On voit qu'avec la v
peur surchauffée à 350 degrés environ, et seulement aid
au besoin par un chauffage additionnel et modéré du réc
pient de bois, il sera possible d'obtenir, dans le même a
pareil, la série des charbons suffisante et nécessaire à
fabrication de toutes les poudres, savoir : des charbo
roux, contenant 70 pour 100 de carbone pour les po
dres de chasse, et des charbons noirs, à 85 pour 100, po
les poudres de guerre.

TABLEAU L. — *De l'analyse des charbons obtenus par immersion du bois* (bourdaine) *dans la vapeur d'eau surchauffée.* (Poudrerie d'Esquerdes.)

NUMÉROS des charbons.	POIDS du charbon analysé.	SUBSTANCES ÉLÉMENTAIRES — Trouvées. Carbone.	Hydrogène	Oxygène, azote et perte.	Cendres.	Calculées pour 100. Carbone.	Hydrogène	Oxygène, azote et perte.	Cendres.	OBSERVATIONS.
	gr	gr	gr	gr	gr					
1	0,695	0,4914	0,0327	0,1639	0,0070	70,706	4,707	23,583	1,007	
2	0,371	0,2607	0,0212	0,0871	0,0020	70,269	5,739	23,477	0,539	Fabrication courante pour poudres de chasse.
3	0,778	0,5552	0,0366	0,1797	0,0065	71,364	4,704	23,098	0,835	
4	0,588	0,4281	0,0228	0,1321	0,0050	72,812	3,885	22,466	0,850	
5	0,567	0,4355	0,0155	0,1130	0,0030	76,808	2,738	19,929	0,529	En chauffant la vapeur seule, aussi fortement que possible.
6	0,455	0,3509	0,0177	0,0839	0,0025	77,135	3,900	18,440	0,549	
7	0,4545	0,4087	0,0122	0,0266	0,0070	89,939	2,684	5,852	1,540	En chauffant à la fois la vapeur et le récipient de bois.
8	0,567	0,5012	0,0143	0,0445	0,0070	88,399	2,523	7,849	1,235	

QUATRIÈME SÉRIE.

Charbons de différentes espèces de bois.

Préparation des charbons de différents bois à la température de 300 *degrés.* — J'ai recueilli soixante-douze espèces de bois différents, tant indigènes qu'exotiques; c'est autant que j'ai pu en rassembler. Ils ont été débités, comme précédemment, en petites bottes semblables, composées, autant que possible, d'un même nombre de brins, puis successivement séchés dans le même appareil pendant deux heures dans un courant de vapeur chauffée à 150 degrés, enfin carbonisés, l'un après l'autre, pendant trois heures dans le même appareil par immersion dans la vapeur chauffée à 300 degrés. Même facilité et même attention à maintenir toujours la vapeur à cette dernière température, de manière à avoir des charbons essentiellement comparables, et même soin de les enfermer immédiatement dans des bocaux en verre bien secs.

Les bois différents, carbonisés à la même température, ne donnent pas, à beaucoup près, à poids égal, la même quantité de charbon; ainsi l'ébène donne 52 pour 100, et le marronnier d'Inde 30 pour 100 de leur poids en charbon : ce sont les deux extrêmes. Certains bois cèdent bien plus difficilement leurs parties volatiles, sous l'influence de la même température; c'est ainsi que le liége donne 62 pour 100 d'un produit qui n'est pas du charbon, parce qu'il est dur, résistant, élastique et peu différent du liége, qui semble avoir été seulement roussi par la chaleur de 300 degrés : il a fallu 350 degrés pour convertir le liége en un charbon très-roux et friable.

TABLEAU M. — *De la dessiccation à 150°, et de la carbonisation à 300°, de différentes espèces de bois.*

NUMÉROS.	NATURE DES BOIS.	DESSICCATION.				CARBONISATION.			OBSERVATIONS. (Les nombres suivants indiquent l'âge du bois.)
		Poids du bois		Perte		Poids du bois préalablement séché à 150°		Quantités de charbon obtenues de 100 part. de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative au poids du bois desséc.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
1	Acajou	115,25	98,00	17,25	8,80	98,00	44,00	44,89	"
2	Agaric (de saule)	62,36	49,20	13,16	21,32	49,20	20,00	40,64	Trois à cinq ans.
3	Ajonc	122,58	95,50	27,08	22,86	95,50	32,70	34,24	Trois à cinq ans.
4	Alizier (droulier)	148,11	68,40	79,71	51,91	68,40	27,60	40,35	Huit à dix ans.
5	Aubépine (alizier)	167,40	111,50	45,90	27,88	115,50	38,70	34,70	Huit à dix ans.
6	Aulne	98,58	84,00	14,58	14,90	84,00	28,90	34,40	Huit à dix ans.
7	Aylanthe (vernis du Japon)	112,07	78,60	33,47	29,91	78,60	29,30	37,27	Cinq à six ans.
8	Baguenaudier	65,76	54,50	11,26	17,12	54,50	19,00	34,85	Cinq à six ans.
9	Bois de cocotier	91,30	77,50	13,80	15,12	77,50	29,40	37,93	"
10	Bois-de-fer	94,62	81,60	13,02	13,76	81,60	35,70	43,75	Fragment d'une lance de sauvage de l'Océanie, donné par M. le capitaine Duperré.
11	Bois-de-lettre	91,17	77,50	13,67	15,00	77,50	34,30	44,25	"
12	Bouleau	112,73	70,80	41,93	37,20	70,80	24,20	34,17	Dix à douze ans.
13	Boule-de-neige	117,93	95,20	22,73	19,27	95,20	30,50	32,03	Six à huit ans.
14	Bourdaine	125,13	108,00	17,13	13,69	108,00	36,30	33,61	Deux à trois ans.
15	Buis	82,00	71,70	11,70	12,56	71,70	29,00	40,44	"
16	Catalpa (bignonne)	68,63	51,70	16,93	24,67	51,70	16,20	31,33	Huit à dix ans.
17	Cerisier	188,63	121,00	67,63	35,85	121,00	43,00	35,53	Quinze à vingt ans.
18	Charme	125,21	104,50	20,71	16,54	104,50	36,00	34,44	Quinze à vingt ans.

[Suite.] **Tableau M.** — *De la dessiccation à* 150 *degrés, et de la carbonisation à* 300 *degrés, etc.*

Numéros.	Dessiccation.	Dessiccation.				Carbonisation.			Observations.
		Poids du bois		Perte		Poids du bois préalablement séché à 150°		Quantités de charbon obtenues de 100 part. de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative au poids du bois desséc.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
19	Châtaignier	61,48	40,20	21,28	34,61	40,20	14,50	36,06	Dix à quinze ans.
20	Chêne	151,30	128,00	23,30	15,40	128,00	59,00	46,09	"
21	Chênevotte	56,38	51,50	4,88	14,23	51,50	20,20	39,22	"
22	Chèvrefeuille	87,01	51,40	35,61	40,93	51,40	19,00	36,96	Quatre à cinq ans.
23	Clématite	88,65	43,00	45,65	51,50	43,00	16,70	38,83	Quatre à cinq ans.
24	Cognassier	104,54	70,00	34,54	33,04	70,00	23,30	33,28	Huit à dix ans.
25	Cornouiller (sanguin)	164,41	90,50	73,91	43,80	90,50	30,20	33,36	Quatre à cinq ans.
26	Coudrier (noisetier)	106,78	75,60	31,18	29,20	75,60	24,80	32,79	Quatre à cinq ans.
27	Coton cardé	30,70	27,80	2,90	9,44	27,80	7,40	37,41	"
28	Cytise (faux-ébénier)	66,80	47,20	19,60	29,33	47,20	17,00	36,01	Quinze à vingt ans.
29	Ébène	154,29	141,50	12,79	8,39	141,50	76,85	54,30	"
30	Églantier	112,06	82,50	29,56	26,38	82,50	30,70	37,21	Dix ans.
31	Épine-vinette	93,09	66,50	26,59	28,57	66,50	22,80	34,28	Dix ans.
32	Érable	122,68	94,80	27,83	22,72	94,80	32,00	33,75	Six à sept ans.
33	Frêne	155,70	129,20	26,50	17,39	129,20	43,00	33,28	Trente à quarante ans.
34	Fusain	86,89	56,00	30,89	35,55	56,00	20,50	36,60	Huit à dix ans.
35	Gaïac	309,54	278,50	31,04	10,03	278,50	116,60	41,86	"
36	Genêt	73,99	63,00	10,99	14,85	63,00	21,00	33,33	Trois à cinq ans.
37	Genévrier	110,33	67,30	43,03	39,00	67,30	29,00	43,07	Huit à dix ans.

NUMÉROS.	NATURE DES BOIS	DESSICCATION.				CARBONISATION.			OBSERVATIONS
		Poids du bois		Perte		Poids du bois préalablement séché à 130°		Quantités de charbon obtenues de 100 part. de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative au poids du bois dessèc.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
38	Groseillier	90,83	68,70	22,13	24,36	68,70	24,50	35,66	Trois à quatre ans.
39	Houx	181,35	113,00	68,35	37,69	113,00	36,40	32,21	Huit à dix ans.
40	If	194,14	175,20	18,94	9,75	175,20	80,70	46,06	"
41	Jonc	14,67	13,00	1,67	11,39	13,00	5,00	38,46	"
42	Liége	26,52	25,00	1,52	5,75	25,00	15,70	62,80	"
43	Lierre	82,06	61,00	21,06	25,67	61,00	21,20	34,75	Quinze à vingt ans.
44	Lilas	94,42	60,60	33,82	35,82	60,60	19,30	31,84	Huit à dix ans.
45	Marronnier d'Inde	116,16	62,20	53,96	46,45	62,20	19,20	30,86	Vingt à trente ans.
46	Mélèze	132,33	95,50	36,83	27,83	95,50	38,50	40,31	Dix à douze ans.
47	Merisier à grappes	118,15	96,00	22,15	18,75	96,00	31,40	32,70	Quatre à cinq ans.
48	Néflier	44,04	38,50	5,54	16,16	38,50	13,70	35,57	Huit à dix ans.
49	Orme	134,27	122,00	12,27	9,13	122,00	42,20	34,59	"
50	Paille de blé	66,93	58,20	8,73	13,13	58,20	24,80	46,99	"
51	Palmier	92,05	79,50	13,55	13,63	79,50	31,40	39,49	"
52	Peuplier (tronc)	47,11	25,70	21,41	45,45	25,70	8,00	31,12	Quinze ans.
53	Peuplier (racines)	34,91	22,00	14,94	37,00	22,00	9,00	40,90	Quinze ans.
54	Peuplier (feuilles)	24,20	10,50	13,70	56,61	10,50	4,30	40,95	Quinze ans.
55	Pin maritime	89,48	47,00	42,48	47,47	47,00	19,50	41,48	Dix ans.
56	Pin sauvage	69,20	37,30	31,90	46,10	37,30	15,20	40,75	Dix ans.

[Suite.] **Tableau M.** — *De la dessiccation à* 150 *degrés, et de la carbonisation à* 300 *degrés, etc.*

NUMÉROS.	NATURE DES BOIS.	DESSICCATION.				CARBONISATION.			OBSERVATIONS.
		Poids du bois		Perte		Poids du bois préalablement séché à 150°		Quantités de charbon obtenues de 100 part. de bois.	
		avant la dessiccation.	après la dessiccation.	relative au poids du bois desséc.	pour 100.	avant la carbonisation.	après la carbonisation.		
57	Platane.....	125,33	108,00	17,33	13,82	108,00	37,50	34,69	Dix ans.
58	Poirier.....	147,26	114,80	32,46	22,47	114,80	36,60	31,88	Sept à huit ans.
59	Pommier.....	169,85	147,00	22,85	13,99	147,00	51,00	34,69	Sept à huit ans.
60	Prunier.....	250,50	182,00	68,50	27,34	182,00	62,00	34,06	Sept à huit ans.
61	Robinier (faux-acacia)....	100,96	67,90	33,06	32,31	67,90	22,70	33,42	Dix à douze ans.
62	Satiney.....	83,08	74,00	9,08	10,93	74,00	38,50	52,00	"
63	Saule.....	95,91	81,50	14,41	15,03	81,50	27,50	33,74	Huit à dix ans.
64	Saule pourri	"	"	"	"	23,00	12,00	52,17	Ce bois, semblable à de l'amadou, provient d'une poutre complétem. pourrie.
65	Sureau	197,29	141,50	55,79	28,02	141,50	52,80	37,31	Huit à dix ans.
66	Sycomore (érable).....	135,04	84,40	50,64	37,50	84,40	28,50	33,76	Douze à quinze ans.
67	Tuya du Canada.....	72,16	50,70	21,46	29,11	50,70	20,00	39,44	Douze à quinze ans.
68	Tilleul.....	127,94	70,00	57,94	45,31	70,00	22,30	31,85	"
69	Tremble.....	105,10	91,50	13,60	12,94	91,50	32,00	34,97	"
70	Troène.....	113,65	78,00	35,65	31,22	78,00	25,00	32,05	Huit à dix ans.
71	Vigne.....	44,19	37,50	6,69	15,15	37,50	13,70	36,53	Dix à douze ans.
72	Bois d'Herculanum.....	1,50	1,30	0,20	13,33	49,50	24,60	49,69	Fragment d'une [illegible]

ation dans le rendement en charbon sera plus
ins le tableau suivant, où les bois sont rangés
e du rendement maximum pour 100 en charbon.

— *De la carbonisation à 300 degrés de différentes espèces de bois.*

BONISATION A 300 DEGRÉS.			CARBONISATION A 300 DEGRÉS.	
u bois préalable-, séché à 150°.	Rendement pour 100 en charbon	N^os.	Nature du bois préalablement séché à 150°.	Rendement pour 100 en charbon
.....	62,80	37	Groseillier.....	35,66
.....	54,30	38	Néflier.....	35,57
/.	52,00	39	Cerisier.....	35,53
ourri.....	52,17	40	Tremble.....	34,87
Herculanum.	49,69	41	Baguenaudier.....	34,85
le blé.....	46,99	42	Lierre.....	34,75
.....	46,09	43	Aubépine.....	34,70
....	46,06	44	Platane.....	34,69
.....	44,89	45	Pommier.....	34,69
-lettre.....	44,25	46	Orme.....	34,59
-fer.....	43,75	47	Charme.....	34,44
ier.....	43,07	48	Aulne.....	34,40
.....	41,86	49	Épine-vinette.....	34,28
ritime.....	41,48	50	Ajonc.....	34,24
r (feuilles)..	40,95	51	Bouleau.....	34,17
r (racines)..	40,90	52	Prunier.....	34,06
ivage.....	40,75	53	Sycomore.....	33,76
de saule....	40,64	54	Érable.....	33,75
.....	40,44	55	Saule.....	33,74
(droulier)..	40,35	56	Bourdaine.....	33,61
... .	40,31	57	Robinier.....	33,42
r.....	39,49	58	Cornouiller.....	33,36
u Canada .	39,41	59	Genêt..... ..	33,33
otte.....	39,22	60	Frêne..... ...	33,28
ite.....	38,83	61	Cognassier.....	33,28
.....	38,46	62	Coudrier.....	32,79
cocotier....	37,93	63	Merisier.....	32,70
cardé.....	37,41	64	Houx.....	32,21
.....	37,31	65	Troène.....	32,05
he.....	37,27	66	Boule-de-neige....	32,03
ier.....	37,21	67	Poirier.....	31,88
feuille.....	36,96	68	Tilleul.....	31,85
.....	36,60	69	Lilas.....	31,84
.....	36,53	70	Catalpa.....	31,33
nier.....	36,06	71	Peuplier (tronc)...	31,12
.....	36,01	72	Marronnier.....	30,86

Résumé.

Il est difficile de résumer ce Mémoire encore incompl néanmoins il est possible de mettre en évidence les résul principaux.

1°. Le bois, carbonisé à des températures différen produit une quantité de charbon qui est d'autant moin que la température de la carbonisation a été plus éle Ainsi, à 25o degrés, le rendement en charbon est 5o pour 100; à 3oo degrés, il est de 33 pour 100; à 4oo grés, il est de 20 pour 100 environ, et il se réduit à 15 p 100 au delà de 1500 degrés, température la plus él qu'il ait été possible de produire, celle correspondante fusion du platine.

2°. Le bois, exposé à une température déterminée, p duit une quantité de charbon qui est proportionnelle durée de la carbonisation. Ainsi, dans deux carbonisat successives, faites chacune à 4oo degrés, l'une très-lent l'autre très-rapide, le rendement en charbon a été deux plus grand dans le premier cas que dans le second.

3°. Le carbone contenu normalement dans le boi divise, dans l'acte de carbonisation, en deux parties, c l'une reste dans le charbon, et l'autre s'échappe avec matières volatiles. Ce partage est variable avec la tem rature de la carbonisation; à 25o degrés, le carbone reste dans le charbon est double de celui qui s'est échap entre 3oo et 35o degrés, les deux parts sont égales, e delà de 1500 degrés la quantité de carbone échappée double de celle restée dans le charbon.

4°. Le charbon contient du carbone en quantité pro tionnelle à la température de la carbonisation; à 25o grés, il renferme 65 pour 100 de carbone; à 3oo deg 73 pour 100; à 4oo degrés, 80 pour 100; et au del 1500 degrés, 96 pour 100 environ, sans qu'il ait été sible de le transformer en carbone pur, même à la

nte température qu'il a été possible de produire, celle de fusion du platine.

5°. Le charbon contient toujours du gaz, et la plus haute aleur n'a pu l'en dépouiller entièrement. La quantité de z qu'il retient varie avec la température de la carboni-tion; à 250 degrés, elle est le $\frac{1}{2}$ du poids du charbon; à o degrés, le $\frac{1}{3}$; à 350 degrés, le $\frac{1}{4}$; à 400 degrés, le $\frac{1}{20}$; et 1500 degrés, le $\frac{1}{100}$ environ.

Les faits précédents démontrent l'extrême influence que température et la durée de la carbonisation du même is exercent tant sur le rendement que sur la composition charbon.

6°. Le bois, carbonisé en vase *entièrement clos,* ne laisse lus se dégager au dehors une grande partie de son carbone, omme cela a lieu dans la carbonisation ordinaire; il le etient presque tout entier à l'état solide dans le charbon roduit; aussi le rendement de celui ci est-il bien plus onsidérable. Entre 150 et 350 degrés, il est environ de 0 pour 100, c'est-à-dire près du triple du rendement ordinaire.

7°. Dans la carbonisation ordinaire, le bois ne produit du *charbon roux,* origine du charbon, qu'à 270 degrés environ, et le rendement est de 40 pour 100 au plus. Or, en vase entièrement clos, le bois se change en charbon roux à 180 degrés, et le rendement est de 90 pour 100 environ, c'est-à-dire plus du double.

8°. Le bois, enfermé dans un vase entièrement clos, et exposé à la chaleur de 300 à 400 degrés, éprouve une véritable fusion; il coule, s'agglutine et adhère au vase. Après refroidissement, il a perdu toute texture organique, ne présente plus qu'une masse noire, miroitante, caverneuse et fondue. Il ressemble entièrement à de la houille grasse, qui a éprouvé un commencement de fusion. Cette expérience fournit peut-être l'explication la plus simple de la formation des combustibles minéraux.

9°. Les charbons faits en vase entièrement clos c
tiennent dix fois plus de cendres que les charbons fait
les procédés ordinaires. Il faut donc admettre que, dan
dernier cas, les matières volatiles qui s'échappent pen
la distillation ou la carbonisation, entraînent avec el
soit à l'état de mélange, soit à l'état de combinaison,
très-grande quantité des substances minérales qui compos
les cendres.

10°. La carbonisation du bois dans les chaudières à c
ouvert, comme on le pratique dans les poudreries, ne don
pas du charbon homogène; on y trouve du charbon
73 pour 100, et d'autres à 85 pour 100 de carbone:
charbon qui occupe le milieu de la chaudière est plus cu
plus riche en carbone que celui qui occupe le fond et
surface.

11°. Les charbons faits dans les chaudières n'offrent pa
dans les diverses poudreries, la même composition, ne co
tiennent pas la même quantité de carbone, qui a présent
des différences de 10 pour 100 au moins. Le dosage de
poudres n'est donc pas *réellement* le même, quoiqu'il soi
numériquement semblable, dans les divers établissements
à quoi bon rechercher la pureté du salpêtre et du soufre
si le charbon n'a pas le même *titre* en carbone. Le *titre* du
charbon importe plus que celui du salpêtre et du soufre
Les poudres, n'étant pas réellement fabriquées avec l
même dosage, ne peuvent être semblables. On doit admettr
qu'en moyenne le charbon noir des chaudières contien
82 à 84 pour 100 de carbone.

12°. Les charbons faits par la distillation du bois dan
les cylindres en fonte, présentent les mêmes variations dan
leur composition; on y trouve des charbons à 70 pour 100
et d'autres à 76 pour 100 de carbone. Même observatio
que ci-dessus relativement au dosage des poudres de chass
auxquelles ces charbons sont généralement destinés. O
peut admettre que le charbon très-roux, essentiellemer

venable aux poudres susdites, doit contenir 70 pour 100 arbone au plus.

3°. Les charbons obtenus par l'immersion du bois dans apeur d'eau surchauffée, présentent plus de régularité leur production; on peut faire des cuites entières de rbons roux à 70 pour 100, et des cuites de charbons -noirs à 88 pour 100 de carbone, à la volonté de l'opé-eur. Ce procédé, qui vient de naître, étant plus étudié ieux appliqué, pourra produire la série des charbons essaires, depuis le plus roux jusqu'au plus noir; il est tiné à remplacer, par l'homogénéité de ses produits, les x anciens procédés dont les vices ont été signalés.

En résumé, le progrès le plus réel à apporter maintenant s la fabrication des poudres, est l'établissement d'un océdé de carbonisation qui donne à volonté, dans la me cuite, des charbons homogènes et de qualité, ou de re en carbone constant et déterminé.

14°. La carbonisation, à la même température, de soixante-uze espèces différentes de bois, a montré que le rende-ent en charbon était loin d'être le même : il a varié depuis 4 pour 100 jusqu'à 30 pour 100. La nature du bois a donc l'influence sur la quanitté de charbon qu'il produit.

Ici se termine ce premier travail. Il reste à faire les ana-yses des soixante-douze espèces de charbons du tableau M, t à reconnaître s'ils contiennent, à poids égal, la même uantité de carbone; il reste encore à examiner les pro-riétés physiques et chimiques de tous les charbons qui ont it l'objet de mes études : ces recherches feront le sujet 'un second Mémoire, qui sera le complément de celui-ci.

Enfin un travail très-important, que j'ai commencé dans un Mémoire en date du 28 octobre 1848, que je signale ici de nouveau, et qui est la conséquence des faits de ce Mémoire, serait la révision du dosage de toutes les poudres, en mettant les quantités de soufre et de salpêtre en rapport atomique avec le carbone du charbon; c'est alors que la

fabrication, quittant des procédés uniquement prat
pour entrer dans une voie rationnelle, produira des p
semblables, identiques, analogues à de véritables co
bien définis, et dont les réactions pourront être à l'a
connues et déterminées, à l'instar des autres compos
miques. C'est l'alchimie qui nous a légué les procéd
nous suivons encore pour faire la poudre; il est tem
la chimie pure améliore cet héritage, comme elle l
dans les autres arts industriels.

SUR L'ARC LUMINEUX DE LA PILE;

PAR M. CH. MATTEUCCI.

Il est, je crois, généralement reconnu que, malgré l
cherches nombreuses et très-importantes de Davy, Da
Grove, de la Rive, Fizeau et Foucault, Van Breda
pretz, etc., sur l'arc lumineux de la pile, nous ne
dons pas encore une vraie explication de ce phénom
de toutes ses particularités. C'est dans l'espoir de c
buer à ce but que j'ai rédigé cette Note, contenant qu
expériences, déjà communiquées à l'Académie, et d'
tentées plus récemment.

Au moment où l'on fait toucher ensemble les extr
en métal ou en charbon, des conducteurs qui co
niquent aux deux pôles d'une pile d'un certain nom
couples, on voit éclater une lumière très-vive, et ses
mités devenir bientôt rouges; alors, en les éloignant
manière lente et graduelle, une espèce de flamm
forme sphéroïdale et qui peut acquérir plusieurs
mètres de longueur, s'établit entre elles et paraît a
d'un mouvement très-vif en toutes ses parties. Ces
mités deviennent incandescentes, et des globules,
matière fondue, s'agitent sur leur surface plus ou

gée et semblent se détruire et se reproduire incessamment; de temps en temps, et surtout avec le charbon et le , et dans l'air raréfié, des gerbes de feu éclatent de ces rémités et rejettent en tous les sens des particules incandescentes qui éclatent et brûlent. Dans le plus grand mbre de cas, l'arc lumineux de la pile se compose d'une rtie centrale presque cylindrique, dont les bases s'appient sur les extrémités polaires, et qui brille d'une mière blanche et très-intense; cette partie est enveloppée une matière lumineuse plus rare, et d'une forme sphéidale dont la couleur change avec la nature des pointes et lle des gaz traversés par l'arc lumineux. A mesure que s extrémités polaires s'éloignent, la partie centrale d'une mière plus vive paraît diminuer et augmenter en même mps la flamme qui l'enveloppe.

On peut démontrer directement avec l'expérience que partie centrale de l'arc lumineux se compose de matière ns laquelle le courant électrique se propage exactement mme dans des conducteurs solides ou liquides. Je prends ur cela un galvanomètre à une seule aiguille, et je unis à chacune de ses extrémités deux longs fils de plaine que je fixe dans deux tubes de verre à la distance de à 4 millimètres. Une fois l'arc lumineux produit, j'y fais plonger les bouts de ces fils de platine, en ayant bien oin qu'ils soient séparés entre eux et qu'ils ne touchent pas les pointes de la pile. Au moment où les fils de platine parviennent à la partie centrale de l'arc lumineux, la déviation de l'aiguille commence et va toujours en augmentant à mesure qu'on plonge davantage dans cette partie de l'arc lumineux, et que la distance entre les deux bouts du galvanomètre est plus grande. En renversant la position des pôles ou la position respective des fils de platine, la déviation a lieu en sens contraire. Avec les pointes de charbon et de cuivre, la partie de l'arc lumineux qui ne donne pas de courant dérivé, est beaucoup plus grande que celle

qu'on trouve en opérant sur l'arc lumineux obtenu en des pointes d'argent ou de fer.

En introduisant un voltamètre dans le circuit de la pi et en produisant l'arc lumineux avec des pointes de di rente nature, ou éloignées à des distances variables, peut estimer avec une certaine approximation la résistan opposée par les différents arcs lumineux.

Voici les nombres trouvés avec 60 piles de Grove mo tées de nouveau, et avec des pointes de charbon provena de la distillation de la houille. En faisant varier la distanc entre ces pointes de 1 à 2 millimètres, et puis de 2 à 3, e enfin, de 3 à 4, on trouve dans le voltamètre, par l passage du courant pendant soixante secondes dans chaqu expérience, que les quantités correspondantes de mélang gazeux obtenues sont 57, 44, 38 centimètres cubes. L altérations qui se produisent dans les pointes lorsqu'on pro longe l'expérience de l'arc lumineux, rendent difficile d'o pérer toujours à une distance constante; cette difficult augmente avec la longueur de l'arc lumineux. Avec de pointes d'argent qui donnent un arc lumineux très-beau e sans interruption, j'ai obtenu, à la distance de 2 à 3 millimètres entre les pointes, 56 centimètres cubes de mélange gazeux dans le voltamètre, et à 6 millimètres de distance, 46 centimètres cubes. J'ai aussi comparé des arcs lumineux de 3 millimètres de longueur, formés entre des pointes de métaux différents.

Voici les nombres trouvés en opérant avec une pile de 50 couples et avec les acides un peu affaiblis. En faisant passer le courant pendant soixante secondes, et sans aucune interruption, j'avais 46 centimètres cubes de mélange gazeux; en produisant l'arc lumineux, j'ai trouvé 23 centimètres cubes avec les pointes de cuivre, 26 avec le laiton, 27 avec le fer, 29 avec le coke, 35 avec le zinc, et 45 avec l'étain. Ces deux derniers métaux ne tardent pas à entrer en fusion, et il est très-difficile de conserver l'arc lumineux

d'une longueur constante. Il résulte évidemment de ces nombres que la conductibilité propre de l'arc lumineux dépend moins de la conductibilité des métaux qui forment les pointes, que de la facilité que ces métaux ont à se fondre et à se volatiliser; en un mot, la conductibilité de l'arc lumineux varie avec la quantité de matière des pointes qui disparaît dans l'expérience.

En interposant convenablement, et d'une manière graduelle, une lame de fer ou de cuivre entre les pointes, de manière à couper l'arc lumineux, ou en fermant le circuit, comme a fait M. Van Breda, après avoir placé la lame entre les pointes avec une grosse étincelle, on voit tout de suite apparaître, au centre de l'arc lumineux, un disque de matière fondue, entouré de cercles très-distincts, dont les couleurs très-brillantes appartiennent aux oxydes de la matière des lames et des pointes; en dehors de l'arc lumineux apparaissent d'autres anneaux de couleurs différentes, et tels qu'on les obtiendrait en chauffant la lame d'une manière quelconque. Pour peu qu'on prolonge l'expérience, le disque central est remplacé par un trou qui acquiert bientôt la section de cette partie de l'arc lumineux, dont la lumière est très-intense, et en général bien distincte de celle de la flamme sphéroïdale qui l'enveloppe. C'est en variant les pointes, en employant des métaux différents pour la pointe positive et pour la négative, ou en interposant des lames différentes, qu'on acquiert bientôt une connaissance exacte de la constitution de l'arc lumineux. La partie centrale de l'arc lumineux se compose de particules incandescentes qui se détachent des extrémités fondues des pointes, paraissent s'attirer entre elles et former une chaîne continue entre les pointes. On peut observer directement la production de cette partie de l'arc en appliquant le microscope à l'observation de la série d'étincelles qui éclatent entre les deux pointes métalliques qui servent à interrompre et à rétablir le circuit par elles-mêmes dans

certaines machines électromagnétiques. En séparant graduellement les deux pointes métalliques, dont les extrémités sont déjà en fusion, on voit se produire ce même phénomène, qui a lieu dans un fil de fer ou de platine traversé par le courant, qui s'échauffe, devient incandescent, et se transforme, à la fin, dans une série de globules qui se séparent entre eux, éclatent et brûlent à l'air. La partie centrale de la lame, interposée à l'arc lumineux, commence par entrer en fusion, et dès globules ainsi formés s'élancent des deux côtés vers les pointes; et comme l'on trouve sur les deux faces de la lame des globules de la matière des pointes, on voit aussi sur les deux pointes des traces de la matière de la lame dans le même état. La partie extérieure de l'arc lumineux, celle qui lui donne la forme sphéroïdale et dont la couleur change avec les pointes et le milieu, est le produit de la matière encore plus divisée qui résulte de la destruction et de la combustion des globules. Dans l'arc lumineux qui se produit dans les liquides, on ne voit jamais que la partie centrale plus brillante, et la matière volatilisée et divisée se répand et trouble le liquide. Avec des pointes de charbon, et surtout dans l'air plus ou moins raréfié, à cause de la grande facilité de ce corps à se désagréger, la partie centrale de l'arc est moins distincte.

Je n'apprendrai rien à personne en rappelant ici que les extrémités métalliques d'une pile sont toujours chargées d'un état électrique contraire; il est aussi connu de tous les physiciens qu'en isolant, comme l'a fait M. Gassiot, une pile de 3 5oo éléments formés de zinc, de cuivre et d'eau pure, on peut obtenir, aux extrémités polaires, des charges électriques assez fortes pour donner, pendant plusieurs jours, des étincelles qui éclatent à $\frac{1}{50}$ de pouce anglais de distance, et qui se succèdent avec une telle rapidité pour donner dans le circuit tous les effets du courant électrique, tels que la décomposition électrochimique et

l'action sur l'aiguille aimantée. On peut facilement observer des phénomènes analogues avec les piles qui donnent l'arc lumineux, et il n'y a, pour cela, qu'à coller une lame d'or très-mince sur chacune des extrémités des tiges métalliques qui entrent dans le ballon ou dans la cloche qui sert à l'expérience de la lumière électrique dans le vide. En faisant communiquer avec ces tiges les deux pôles d'une pile de 50 à 60 éléments de Grove, l'attraction entre les feuilles d'or se manifeste à la distance de quelques centimètres ; et si l'on fixe d'avance ces feuilles d'or, réduites très-courtes, à la distance la plus petite possible, au moment où l'on ferme le circuit les feuilles s'attirent, une vive étincelle éclate, et très-souvent l'arc lumineux s'établit.

C'est donc bien facile à prouver, et l'on sait depuis longtemps que des états électriques contraires existent sur les extrémités métalliques de chaque pôle d'une pile, c'est-à-dire des forces répulsives pour les matières de chaque pôle, et attractives pour celles des deux pôles, lesquelles forces vont toujours en augmentant avec les rapprochements des extrémités polaires. Suivant le nombre de couples de la pile, la conductibilité de ces liquides et l'intensité de l'action chimique, il y a une tension plus ou moins grande dans les états électriques contraires qui existent sur les pôles de la pile avant que le circuit soit fermé, et de même doit varier la reproduction plus ou moins rapide de ces états électriques, lorsque le circuit a été fermé.

Au moment où les extrémités polaires d'une pile de 50 à 60 éléments, de Grove ou de Bunsen, viennent à se toucher, il y a de la chaleur développée dans tous les points du circuit ; on conçoit facilement comment ce développement de chaleur doit être plus grand au point où la résistance est plus grande, tel que l'extrémité des pointes. Il est facile, avec l'appareil imaginé par Peltier, de reconnaître comment le développement de la chaleur par le pas-

sage de l'électricité, varie avec le degré d'imperfection dans le contact des deux surfaces des conducteurs qui communiquent aux pôles de la pile. En effet, en tenant la pince thermo-électrique en contact de l'union des deux tiges cylindriques du même métal, à l'aide duquel le circuit est fermé, et qu'on peut avec des vis pousser plus ou moins l'une contre l'autre, on trouve que la chaleur développée par le courant, qui est à peine sensible lorsque les deux tiges sont très-pressées, augmente rapidement lorsqu'on diminue cette pression. La moindre altération sur les deux surfaces de ces tiges, un voile d'oxyde à peine visible, formé avec la flamme d'une lampe à alcool, une couche très-mince de graphite, etc., augmentent considérablement le développement de la chaleur. La chaleur des pointes doit donc augmenter à mesure qu'on les éloigne et suivant leur nature; ces pointes seront ainsi réduites, ou à l'état de fusion, ou désagrégées, ou volatilisées.

Des états électriques contraires, développés par la pile, existent sur les extrémités des pointes réduites à l'état de fusion ou désagrégées, et il faut nécessairement qu'à un certain éloignement, toujours très-petit entre ces pointes, une série d'étincelles s'établisse entre elles et une chaîne de matière fondue, ou qu'une espèce de poussière incandescente, détachée des pôles, s'y forme. Je conçois donc l'arc lumineux de la pile comme un phénomène du même genre que celui qu'on produit, avec l'étincelle de la machine, dans l'*œuf philosophique*. Les premières étincelles facilitent le passage aux étincelles successives plus longues, et leur reproduction très-rapide détermine la continuité du phénomène électrique, favorisée dans le même temps par le concours des phénomènes secondaires, tels que le développement de la chaleur, la fusion et la désagrégation des pointes, et le transport de la matière ainsi divisée entre les deux pôles. La combustion de ces matières, leur volatilisation plus ou moins facile, l'incandescence com-

muniquée au gaz, l'influence spécifique des différents gaz à modifier la couleur de l'étincelle ordinaire, sont là les circonstances principales qui expliquent les apparences diverses de l'arc lumineux de la pile, obtenu entre des métaux et dans des gaz différents.

La forme sphéroïdale de l'arc lumineux est ainsi une conséquence de l'explication que j'ai donnée de la formation et de la constitution de cet arc.

En faisant passer une série d'étincelles entre deux pointes métalliques plongées dans l'huile de térébenthine, qui tient en suspension des particules très-fines de liége, de charbon, de fer, etc., on voit tout de suite ces particules se grouper entre les pointes en formant une masse, de forme sphéroïdale, composée de filets qui vont d'une pointe à l'autre, et dont chacun est formé par une chaîne de ces molécules entre lesquelles de petites étincelles éclatent. La forme de l'étincelle électrique, qui éclate dans l'air plus ou moins raréfié, ressemble à celle de l'arc lumineux.

En modifiant un peu l'expérience très-connue des couleurs de Nobili, on trouve que, dans une masse liquide, les filets de l'électricité se propagent d'une manière semblable. Je prépare deux fils de platine en les couvrant de vernis, excepté à leur dernière extrémité; je fixe, avec de la cire à cacheter, ces deux fils aux parois opposées d'un verre, de manière que les deux pointes métalliques soient sur la même ligne, l'une contre l'autre, et à la distance de 20 à 30 millimètres. Après avoir rempli le verre d'une solution d'acétate de plomb et de cuivre, j'interpose entre les pointes plusieurs lames de platine, isolées et séparées entre elles par quelques millimètres d'intervalle. En faisant alors passer un courant de quelques éléments de Grove (8 à 10), on voit apparaître bientôt, sur chacune des faces de ces lames, les anneaux colorés de Nobili, et en jugeant, par les diamètres différents des anneaux correspondants formés sur chaque lame, il est facile de reconnaître que la propa-

gation des filets électriques entre les deux pointes a lieu dans une masse liquide ayant une forme sphéroïdale.

Il me reste à examiner les différences de température ou d'échauffement présentées par les deux pointes et le transport inégal de matière d'un pôle à l'autre. L'échauffement plus grand de la pointe positive dans l'expérience de l'arc lumineux est un fait constant, en employant des pointes de la même nature. Il suffit de prolonger, pendant quelque temps, de cinq à dix minutes, l'expérience de l'arc voltaïque avec 50 à 60 piles de Grove, pour voir toute la pointe positive et la tige à laquelle elle est fixée devenir d'un rouge plus ou moins vif, tandis que la pointe négative n'a pas pris cette couleur, ou elle cesse de l'avoir, aussitôt que l'arc est interrompu. En faisant plonger les deux pointes entre lesquelles l'arc lumineux a été établi pendant un certain temps dans des masses égales d'eau, séparées et prises à la même température, j'ai pu me former, malgré toute l'imperfection de la méthode, une idée assez exacte de la différence de température des deux pointes. Il est hors de doute que la différence la plus grande entre les deux pointes a lieu avec le charbon et les métaux moins conducteurs, et que la différence la plus petite est celle qu'on trouve avec les métaux les plus conducteurs.

Je dois faire noter que c'est la différence entre la température des deux pointes qui suit cette loi, et non pas la température propre de chaque pointe dans les différentes expériences. Voici les températures auxquelles le thermomètre s'est élevé, étant plongé dans 63 grammes d'eau contenue dans un verre à + 14°,60 centigrades, dans laquelle on fait plonger et l'on agite rapidement la pointe après dix minutes d'arc lumineux de 3 millimètres de longueur. Les pointes avaient la même forme et les mêmes dimensions, et elles étaient également exposées à l'expérience.

NOM DES POINTES.	TEMPÉRATURE communiquée par la pointe +.	TEMPÉRATURE communiquée par la pointe —.
	gr	o	o
Cuivre....	(11,935).....	+ 31,50	29,00
Argent. .	(13,540).....	31,50	27,50
Fer.... ..	(9,085).....	28,90	26,00
Coke.....	(1,555).....	27,60	22,10

En réfléchissant aux circonstances qui compliquent cette manière d'opérer, je me garderai bien de tirer de ces nombres aucune conclusion relative aux lois générales du développement de la chaleur par l'électricité; seulement il en résulte prouvé que la différence de température entre les deux pôles est plus grande lorsque les pointes sont formées d'une matière moins conductrice, ou plus facile à se désagréger ou à brûler par la chaleur.

En faisant l'expérience de l'arc lumineux dans le gaz hydrogène ou dans l'air raréfié, on ne trouve plus de différence de température, ou elle devient très-petite entre les deux pôles. On aurait pu croire par là que cette différence de température serait due à une combustion inégale qui avait lieu dans l'air, et qui cessait dans l'hydrogène ou dans le vide. En répétant l'expérience de l'arc lumineux dans le gaz acide carbonique, on trouve de nouveau la différence de température entre les deux pointes comme dans l'air, et il faut, par conséquent, rejeter l'explication. Il est donc naturel de croire que l'action de l'hydrogène et de l'air raréfié, réduisant, comme il est effectivement démontré par l'expérience, la chaleur totale développée dans l'arc lumineux, et comme il arrive dans la spirale de platine parcourue par le courant et entourée de gaz différents, parvienne également à diminuer et même à détruire la différence de température entre les deux pôles, qui a lieu dans l'air ou dans

l'acide carbonique. Puisque l'échauffement inégal des deux conducteurs qui communiquent aux deux pôles de la pile a lieu non-seulement dans l'expérience de l'arc lumineux mais aussi lorsque ces deux conducteurs se touchent directement, il faut admettre que la cause du phénomène est indépendante des changements moléculaires qui se produisent sur les deux pointes dans l'expérience de l'arc lumineux. Il est également certain que l'inégalité d'échauffement des deux extrémités polaires peut aussi bien dépendre d'une désagrégation différente aux deux pôles, de même que cette désagrégration peut être l'effet de la première différence.

Quant au transport de matières dans l'arc lumineux du pôle positif au pôle négatif, je commencerai par faire remarquer qu'il serait impossible d'en déduire la preuve par la perte de poids faite par les deux pôles; et, en effet, ce n'est qu'en opérant sur des pointes de charbon ou de coke qu'on trouve que la perte de la pointe positive est plus grande que celle de la pointe négative. Avec des pointes de fer, la différence entre les deux pertes est tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, et toujours très-petite; et, avec les autres métaux, cuivre, argent, laiton, c'est toujours la pointe négative qui souffre la perte la plus grande. On peut s'assurer facilement que la grande différence qu'on trouve avec les pointes de charbon est due principalement à la combustion qui, par l'échauffement très-inégal des deux pointes, doit produire aussi une combustion très-inégale. En effet, en répétant l'expérience avec des pointes de charbon dans l'air très-raréfié ou dans l'hydrogène, non-seulement la perte totale est réduite à peu près au quart de celle qui a lieu dans l'air, mais encore on trouve que cette perte est égale pour les deux pointes. Je m'empresse pourtant d'ajouter qu'en faisant la même expérience dans l'acide carbonique, on trouve encore que la pointe positive a perdu une plus

quantité de son poids que la pointe négative, quoique
gaz la perte totale des deux pointes soit, dans le plus
ombre de cas, à peine la moitié de celle qu'on trouve
xpérience faite dans l'air. L'inégalité de tempéra-
ıe nous avons vu se produire dans l'acide carbonique
dans l'air, est donc une circonstance qui accom-
ɔujours la perte inégale des matières faite pour les
intes indépendamment de la combustion. Puisque
est prouvé directement par l'expérience que, dans
ıction de l'arc lumineux, il y a toujours de la ma-
i se détache et qui est comme rejetée des deux
et qu'il y a attraction d'une pointe à l'autre de
tière, on est conduit très-naturellement à attribuer
pérature inégale des deux pointes le transport plus
matière de la pointe positive à la négative, qu'on
r par l'observation directe, et qui est aussi prouvée
erte inégale des deux pointes dans l'acide carbo-
'échauffement inégal des deux extrémités polaires
ıinement accompagné par une différence dans la
ation moléculaire de leur matière, qui peut, à son
gmenter la différence dans la résistance et dans la
développée.

ıployant des pointes métalliques, on trouve en gé-
omme je l'ai déjà dit, que la perte est plus grande
ɪtrémité négative : dans tous les cas, on trouve à la
xpérience l'extrémité négative rongée et la positive
d'une couche et de gouttes d'oxyde qui se déta-
cilement, et laissent la pointe très-peu altérée. Je
ɜerver que les pertes de poids des deux pointes ont
ɜs après avoir détaché la couche d'oxyde fondu. Ce
ıve que c'est à l'influence de cette couche d'oxyde,
ıssemble sur l'extrémité de la pointe positive, qu'est
ıoindre perte trouvée, c'est que, dans plusieurs ex-
ɜs faites avec des pointes de fer dans l'acide carbo-

nique, dans lequel cas la couche d'oxyde fondu était petite ou nulle, la différence des pertes entre les pointes ou elle n'existait plus, ou c'était la pointe pos qui avait perdu davantage.

On peut donc, d'après les faits et les considération posés dans cette Note, donner une explication satisfai de la formation de l'arc lumineux et du plus grand nor de ses particularités. Il reste encore à trouver la cau l'échauffement inégal des deux pointes. Ce phénomène important, qui se produit indépendamment de la form de l'arc lumineux, doit se rattacher par son origine, propriétés remarquables qui distinguent les deux états triques, et qui, très-probablement, influent pour fair rier l'action du courant suivant sa direction, en don lieu aux effets, encore si obscurs et extraordinaires l'action électromagnétique et de la décomposition éle chimique.

NOTE SUR LA COMPOSITION DES MILLÉPORES ET DE QUEL CORALLINÉES ;

PAR M. A. DAMOUR.

Présentée à l'Académie des Sciences, dans la séance du 17 février 1

On a désigné sous le nom de *millépores* certaines ductions végétales marines, de formes très-variées, p culièrement remarquables par la proportion considé de matières terreuses dont elles sont intimement pénét et qui peut les faire confondre, au premier aspect, ave concrétions minérales. Elles ont, en effet, la duret couleur, la fragilité des calcaires non cristallins ; elles se sent aisément pulvériser. Leur cassure, entièrement n

ère ainsi de celle des madrépores qui laisse presque toujours apercevoir des cloisons, des cellules, des tubes ou des sillons symétriquement assemblés.

Les millépores, plongés dans un acide faible, sont attaqués avec effervescence. Les sels terreux qu'ils renferment se dissolvent en totalité : il reste un squelette de matière organique qui conserve exactement la forme de l'échantillon soumis à l'essai, et qui offre la plus grande analogie avec le tissu des algues marines.

Ce tissu organique, convenablement lavé, exhale l'odeur gélatineuse particulière aux végétaux marins : il est spongieux, presque transparent; la dessiccation le resserre et le réduit à un très-petit volume. Traité par une lessive de potasse ou de soude caustique, il ne se dissout ni à froid, ni à chaud; mais il acquiert par là plus de transparence, et se comporte ainsi comme la fibre végétale. Il brûle avec flamme, et ne laisse que très-peu de cendres, principalement formées de sulfate de chaux.

Ces propriétés servent encore à distinguer les millépores des polypiers. Ces derniers, en effet, après avoir été attaqués par un acide faible, ne laissent dans la dissolution que de légers flocons d'une matière animale désagrégée et entièrement soluble dans les alcalis caustiques.

Les caractères tirés des réactions chimiques s'accordent, par conséquent, avec ceux qui résultent de l'observation physiologique, et donnent un nouveau poids à l'opinion des naturalistes qui classent les millépores parmi les algues.

La composition des matières salines et terreuses contenues dans le tissu des millépores m'a paru mériter un examen particulier. Déjà, en juin 1850, j'avais présenté à la Société géologique l'analyse de deux échantillons de millépores, qui m'avaient été remis par M. Michelin. Depuis cette époque, j'ai continué mes recherches sur de nouveaux échantillons, que je dois à l'obligeance de MM. Decaisne et Deshayes. Je vais donner les résultats de ce travail :

j'exposerai d'abord la méthode employée pour l'analy

On opérait généralement sur 5 à 8 grammes de mati réduite en fragments de diverses grosseurs, mais non p vérisés. Après l'avoir pesée, on l'exposait pendant de heures à une température de + 50 degrés centigrades, qui en dégageait une faible proportion d'humidité.

On l'attaquait ensuite par l'acide acétique étendu deux fois son volume d'eau. Lorsque toute effervescen avait cessé, on décantait la liqueur claire, on lavait la ma tière organique insoluble avec de l'acide acétique affaibli et ensuite avec de l'eau pure; puis on la recueillait sur u filtre; on la faisait sécher à une température de + 40 de grés, et l'on en prenait le poids. On la brûlait ensuite dan un creuset de platine. Il restait ordinairement une faibl proportion de cendres consistant en sulfate de chaux, e silice, ou en oxyde ferrique. Le poids de ces cendres étai déduit de celui de la matière organique.

La liqueur acétique contenant tous les sels minéraux était traitée par l'oxalate d'ammoniaque. La liqueur restan acide, toute la chaux était précipitée à l'état d'oxalate cal cique; la magnésie restait en dissolution. On recueillai l'oxalate calcique, on le décomposait par la calcination, on dissolvait la chaux dans l'acide chlorhydrique, et l'on transformait le chlorure calcique en sulfate au moyen de l'acide sulfurique ajouté en léger excès. On évaporait le tout dans un creuset de platine; on faisait rougir le sulfate calcique, dont le poids servait alors à évaluer la proportion de carbonate calcique contenue dans la matière.

La liqueur séparée de l'oxalate calcique était évaporée à siccité dans une capsule de platine, et le résidu chauffé au rouge-cerise. Les sels ammoniacaux étaient ainsi volatilisés. Le résidu calciné était traité par l'eau chaude qui dissolvait les alcalis, soude, potasse, et laissait la magnésie qu'on recueillait sur un filtre.

On transformait la soude et la potasse en chlorure : après

voir pris le poids des deux sels réunis, on les dissolvait ans une faible quantité d'eau et d'alcool, et on les traitait ar le chlorure platinique. D'après le poids du chlorure latinico-potassique obtenu, on calculait la proportion du hlorure potassique qui, retranchée du poids des deux hlorures réunis, donnait la proportion du chlorure so- ique. La soude et la potasse étaient enfin évaluées d'après s quantités de chaque chlorure.

La magnésie recueillie sur le filtre était dissoute dans cide sulfurique. On évaporait la dissolution à siccité, et on faisait rougir le résidu dans un creuset de platine. Le ulfate magnésique neutre servait à déterminer la propor- ion de carbonate magnésique existant dans la matière. Traité par une faible quantité d'eau, le sulfate magnésique alciné se dissolvait aisément en dégageant une assez vive haleur : il restait quelquefois un léger dépôt insoluble ormé d'oxyde ferrique.

Pour doser l'acide sulfurique contenu dans les millé- pores, on dissolvait une autre portion de matière dans l'acide chlorhydrique, et l'on versait du chlorure barytique dans la dissolution filtrée. Il se déposait une faible quantité de sulfate barytique, dont le poids servait à évaluer la pro- ortion d'acide sulfurique.

En attaquant la matière par l'eau régale, jusqu'à ce que a substance organique fût détruite, évaporant à siccité, eprenant par l'eau, puis versant du chlorure de barium lans la liqueur filtrée, on obtenait une quantité un peu lus forte du sulfate barytique : ceci porterait à croire que es millépores renferment aussi une certaine quantité de oufre, soit pur, soit à un état de combinaison autre que l'acide sulfurique.

Pour doser l'acide phosphorique, une autre quantité de matière était dissoute dans l'acide chlorhydrique. On satu- rait la liqueur acide par l'ammoniaque, qui donnait un

faible précipité de phosphate calcique. Ce phospha recueilli sur un filtre, puis redissous et précipité d veau par l'ammoniaque. On en prenait le poids, on solvait dans l'acide chlorhydrique, on ajoutait de sulfurique à la liqueur et de l'alcool. Il se précip sulfate calcique correspondant à une certaine propor chaux, laquelle, retranchée du poids du phosphate ca donnait la quantité d'acide phosphorique.

On obtenait la proportion du chlore en dissol matière dans l'acide nitrique faible, et en versant du argentique dans la liqueur filtrée. Le chlorure arg formé ne se déposait qu'avec une extrême lenteu trouvait mêlé d'argent en poudre, ramené ainsi à l'é tallique par l'action d'une petite quantité de matièr nique dissoute dans la liqueur. Après avoir décante queur éclaircie, on faisait bouillir ce dépôt avec nitrique qui dissolvait l'argent. On recueillait alors l rure argentique insoluble, dont le poids servait à la proportion du chlore.

Le tableau suivant expose les résultats de l'analy

	I. *Millepora cervicornis.*	II. *Millepora lithophyllum.*	III. *Melobesia* (nouv. espèce).	IV. *Amphiroa tribulus.*	V. *Halymeda opuntia.*	VI. *Galaxaura fragilis.*
Carbonate de chaux	0,8732	0,7736	0,7278	0,7083	0,8617	0,7256
Carbonate de magnésie	0,0851	0,1132	0,1232	0,1699	0,0056	0,0086
Soude	0,0045	0,0055	0,0175	0,0089	0,0113	0,0073
Potasse	0,0034	0,0027	0,0065	0,0039	0,0054	0,0102
Oxyde ferrique	0,0055	0,0008	0,0020	.....	.....	.....
Acide sulfurique	0,0089	0,0095	0,0125	0,0093	Indéterminé.	Indéterminé.
Acide phosphorique	0,0023	0,0032	0,0038	0,0027	Indéterminé.	Indéterminé.
Chlore	Indéterminé.	0,0060	0,0034	0,0053	0,0084	0,0117
Sulfate de chaux	Indéterminé.	.....	.....	0,0020	0,0055	0,0180
Matière organique	0,0035	0,0470	0,0395	0,0640	0,0830	0,1750
Humidité	0,0064	0,0146	0,0140	0,0138	0,0080	0,0220
Silice	.....	.....	.....	.....	.....	0,0095
Sable siliceux mélangé	0,0063	0,0136	0,0428	.....	.....	.....
Totaux	0,9991	0,9897	0,9930	0,9881	0,9889	0,9879

Le n° I, recueilli sur la côte de Bréhat (Manche), for des bancs assez considérables qui sont exploités pour ê convertis en chaux hydraulique : l'échantillon employ l'analyse était un peu désagrégé à la surface et comme fo silisé. C'est ce qui m'explique la faible proportion de matiè organique qu'il renferme.

Le n° III a été recueilli par M. Deshayes sur la cô d'Alger : cette espèce se développe en très-grande abondan sur une vaste étendue de la côte, et précisément aux endroit exposés au choc des vagues.

Les n°s IV, V et VI proviennent de la collection d Muséum d'histoire naturelle, et m'ont été remis pa M. Decaisne. On remarquera que les deux derniers n renferment que des traces de carbonate de magnésie, tandi que les quatre premiers contiennent depuis 8 $\frac{1}{2}$ jusqu' 17 pour 100 de carbonate. Les n^{os} V et VI appartiennent à des familles bien distinctes des précédents. La matière terreuse forme une simple incrustation à la surface du végétal, et ne pénètre pas dans l'intérieur du tissu, comme on l'observe sur les autres échantillons de millépores.

La proportion très-notable de magnésie que renferment la plupart de ces végétaux marins m'a paru mériter d'être signalée ; et il sera sans doute intéressant de vérifier si les mêmes espèces présentent une composition constante, quelle que soit la contrée et la nature du terrain où elles prennent leur développement.

Les analyses qui précèdent semblent indiquer déjà que les millépores jouent, dans le règne végétal, un rôle analogue à celui des polypiers et de la plupart des mollusques dans le règne animal. Par leur organisation spéciale, ils ont la faculté de décomposer les sels contenus dans les eaux de la mer, d'extraire, de sécréter et de s'incorporer particulièrement la chaux et la magnésie converties en carbonates.

Le développement que prennent ces végétaux sur certaines côtes et dans les bas-fonds, et, par suite, les

épôts de calcaire magnésien qu'ils amènent de nos jours, qu'ils ont pu produire à des époques reculées, semblent mériter également d'être pris en considération dans l'étude des formations géologiques.

MINÉRALOGIE DU CALCAIRE SACCHAROÏDE DES VOSGES;

PAR M. DELESSE.

EXTRAIT.

Le calcaire saccharoïde des Vosges renferme plusieurs minéraux remarquables, dont la composition n'avait pas encore été déterminée et que je vais décrire sommairement.

Le plus caractéristique et le plus constant de ces minéraux est un *mica* à base de magnésie, dont la couleur varie généralement du jaune d'or au rouge de cuivre; quand il n'a pas été altéré par l'action atmosphérique, il n'a pas l'éclat propre au mica, et sa couleur est verdâtre. Sa densité est de 2,746. Lorsqu'il est placé dans le polariscope d'Amici, on voit, dans une certaine position, deux courbes bien distinctes et de forme hyperbolique, dont les sommets sont cependant rapprochés; en faisant tourner la lamelle de mica soit à droite, soit à gauche, les sommets se rapprochent davantage, et les deux courbes paraissent se transformer peu à peu en deux droites perpendiculaires ou en une croix noire qui est au centre d'un système d'anneaux comme dans le mica à un axe; mais, quoi qu'il en soit, il résulte de ce qui précède que le mica du calcaire saccharoïde est un mica ayant deux axes de double réfraction très-rapprochés.

Par calcination, ce mica perd sa transparence; il prend alors une couleur blanche éclatante et argentée.

Au chalumeau, il s'exfolie et il jette un vif éclat; il fond ensuite en un émail blanc, mais difficilement et seulement

sur les bords. Il ne donne rien de particulier avec le nitrate de cobalt.

Il s'attaque par l'acide chlorhydrique ou sulfurique concentré, et la dissolution contient le fer à l'état de protoxyde

J'ai fait l'analyse de lamelles de ce mica dont la couleur était verdâtre et qui n'avaient pas encore passé au rouge elles provenaient du calcaire saccharoïde du Saint-Philippe près de Sainte-Marie-aux-Mines : j'ai trouvé pour leur composition :

	I. CO^3, KO	II. FlH	Moyenne.	Oxygène.	Rapport
Silice.....	37,54	"	37,54	.....	19,508....4
Alumine.....	19,88	19,72	19,80	.....	9,247....2
Protoxyde de fer..	1,61	1,61	1,61	0,367	
Id. de manganèse.	0,10	0,10	0,10	0,022	
Chaux.....	0,70	"	0,70	0,197	..13,792....3
Magnésie.....	30,32	"	30,32	11,734	
Soude.....	"	1,00	1,00	0,256	
Potasse.....	"	7,17	7,17	1,216	
Fluor.....	0,22	"	0,22		
Perte au feu.....	"	1,51	1,51		
			99,97		

Ce mica se distingue de tous ceux qui ont été analysé jusqu'ici par sa grande teneur en magnésie qui est même égale à celle d'une chlorite; c'est sans doute à sa richesse en magnésie qu'il doit d'avoir un éclat gras, d'être un peu doux au toucher et de se laisser attaquer facilement par les acides.

Comme ce mica est à deux axes, on voit qu'on ne saurait admettre d'une manière générale que les micas à base de magnésie sont à un axe.

Il contient du reste de la potasse, comme cela a lieu pour tous les micas à base de magnésie, et, en outre, j'y ai constaté la présence de la soude, qui n'a pas encore été signalé dans cette variété de mica (1).

Il n'est pas moins riche en alcalis que le mica à base de potasse.

(1) Rammelsberg : *Handworterbuch, Glimmer,* page 266, etc.

Il est plus pauvre en oxyde de fer qu'aucun mica à base de magnésie, et cet oxyde y est remplacé par de la magnésie.

La chaux est toujours rare et en petite quantité dans le mica; d'après le mode de gisement de celui qui vient d'être analysé, il n'est d'ailleurs pas étonnant qu'il en contienne un peu.

Ce mica à base de magnésie est encore remarquable par sa faible teneur en silice, qui est inférieure à celle des micas magnésiens analysés par MM. H. Rose et de Kobell; ceux desquels il diffère le moins sont le mica du Vésuve analysé par M. Bromeïs, et le mica de Sala analysé par M. Svanberg.

Comme le mica du Saint-Philippe contient très-peu d'oxyde de fer, et que l'une de ses bases, la magnésie, y est très-prédominante, il était naturel de croire qu'il se laisserait représenter par une formule simple; il est facile de voir, en effet, que les proportions d'oxygène de $\dot{R}$, $\ddot{R}$, $\ddot{S}i$ sont entre elles $\div 3 : 2 : 4$; ce qui conduirait, pour ce mica, à la formule

$$3\,\dot{R}^3\,\ddot{S}i + \ddot{R}^2\,\ddot{S}i.$$

On trouve également dans le calcaire saccharoïde des Vosges, et notamment au Saint-Philippe, un minéral qui me paraît être une variété de *pyrosklerite*. Il a une belle couleur verte assez claire, qui tire quelquefois sur le vert-grisâtre, sur le vert-bleuâtre ou sur le vert-émeraude; son éclat est gras et cireux, sa dureté est faible; aussi, jusqu'à présent, il a toujours été regardé comme de la serpentine.

Sa densité égale à 2,622 est inférieure à celle de la pyrosklerite de M. de Kobell.

Il s'attaque complétement par l'acide chlorhydrique bouillant, mais la silice ne fait pas gelée.

Au chalumeau il fond, quoique difficilement, en un verre

blanchâtre; avec le nitrate de cobalt, il prend une couleur bleue assez pure.

Son analyse m'a donné :

Silice	38,29
Alumine	26,54
Oxyde de chrome	traces.
Protoxyde de fer	0,59
Protoxyde de manganèse	traces.
Chaux	0,67
Magnésie (par différence)	22,16
Eau	11,65
	100,00

Par ses caractères physiques et chimiques, le minéral du Saint-Philippe qui vient d'être analysé, se rapproche de la pyrosklerite de M. de Kobell, ainsi que de la serpentine d'Åker de M. Lychnell (1); il en diffère cependant par une teneur plus grande en alumine : tous ces minéraux, qui ont été peu étudiés jusqu'à présent, sont des hydrosilicates d'alumine et de magnésie, contenant un peu de chrome.

La pyrosklerite joue, d'ailleurs, un rôle important dans la géologie, et elle a généralement été décrite comme de la serpentine avec laquelle il est d'autant plus facile de la confondre, qu'elle lui est souvent associée; elle s'en distingue toutefois par sa structure un peu lamelleuse, par un éclat légèrement nacré, par sa fusibilité au chalumeau qui est plus grande que celle de la serpentine, et par la couleur bleue qu'elle prend lorsqu'on la chauffe après l'avoir humectée avec le nitrate de cobalt.

Dans le calcaire saccharoïde du Chippal, j'ai observé un *pyroxène* ayant la forme habituelle au pyroxène salite, ainsi que des clivages assez faciles parallèles aux plans diagonaux et à la base. Sa densité qui est très-faible est égale à 3,048. J'ai trouvé pour la composition de cristaux verts un peu grisâtres qui étaient tendres et doux au toucher comme la serpentine :

(1) RAMMELSBERG; *Handworterbuch*, 2e partie, page 83.

Silice	54,01
Alumine	1,10
Protoxyde de fer	4,25
Protoxyde de manganèse	traces.
Chaux	16,10
Magnésie (par différence)	20,94
Perte au feu	3,60
	100,00

Ce pyroxène est donc une variété de salite qui est remarquable par son peu de dureté, par sa faible densité, par sa grande teneur en eau et en magnésie ainsi que par sa petite teneur en chaux; plusieurs de ses propriétés lui donnent d'ailleurs quelque analogie avec la serpentine, et il est vraisemblable que sa composition primitive a été modifiée par voie de pseudomorphose.

Parmi les autres minéraux du calcaire saccharoïde des Vosges, on peut encore signaler le *graphite*, la *pyrite de fer magnétique*, le *sphène*, le *feldspath*, l'*amphibole*, etc.; mais le *mica à base de magnésie* et la *pyrosklerite* que j'ai décrits d'abord sont les deux minéraux les plus caractéristiques du calcaire saccharoïde avec lequel ils sont le plus généralement associés, soit dans les Vosges, soit dans d'autres contrées telles que les Alpes, la Saxe, la Suède et la Norwége.

EXTRAIT D'UN MÉMOIRE

Sur une relation existant entre la couleur de certaines flammes colorées et les images héliographiques colorées par la lumière;

PAR M. NIEPCE-DE-SAINT-VICTOR.

J'ai déposé à l'Académie des Sciences, le 24 mars dernier, un Mémoire très-détaillé sur ce sujet. Je vais aujourd'hui en donner l'analyse le plus succinctement possible.

On sait qu'une plaque d'argent, plongée dans une solu-

tion de sulfate de cuivre et de chlorure de sodium, en même temps qu'on la rend électropositive au moyen de la pile, se chlorure et devient susceptible de se colorer lorsque, l'ayant retirée du bain, elle reçoit l'action de la lumière.

On sait, en outre, que M. Edmond Becquerel, en exposant cette plaque aux rayons colorés du spectre solaire, a obtenu une image de ce spectre de manière que le rayon rouge produisait sur la plaque une image rouge, et le rayon violet une image violette, et ainsi des autres.

Ayant pensé, d'après mes observations, qu'il pouvait y avoir une relation entre la couleur que communique un corps à une flamme et la couleur que la lumière développe sur une plaque d'argent qui aurait été chlorurée avec le corps qui colore cette flamme, j'ai entrepris la série d'expériences que je vais soumettre à l'Académie.

Le bain dans lequel j'ai plongé la plaque d'argent était formé d'eau saturée de chlore à laquelle j'ajoutais un chlorure doué de la propriété de colorer la flamme en la couleur que je voulais reproduire sur la plaque.

Par exemple, on sait que le chlorure de strontium colore en pourpre les flammes en général, et celle de l'alcool particulièrement. Si l'on prépare une plaque d'argent en la passant dans de l'eau saturée de chlore à laquelle on ajoute du chlorure de strontium, et si, ensuite, appliquant le recto d'un dessin coloré en rouge et autres couleurs contre la plaque, on l'expose à la lumière du soleil, après dix à quinze minutes, on remarque que les couleurs de l'image sont reproduites sur la plaque, mais que les rouges sont beaucoup plus prononcés que les autres couleurs.

Lorsqu'on veut reproduire successivement les six autres rayons du spectre solaire, on opère de la même manière qu'il vient d'être indiqué pour le rayon rouge, en employant pour l'orangé le chlorure de calcium ou celui d'uranium, pour le jaune l'hypochlorite de soude ou les chlo-

rures de sodium ou de potassium, ainsi que le chlore liquide pur; car si l'on plonge une plaque d'argent pur dans du chlore liquide pendant quelque temps, et qu'on l'expose ensuite à la flamme d'une lampe à alcool, il se produira une belle flamme jaune.

Si l'on plonge une plaque d'argent dans du chlore liquide, ou qu'on expose la plaque à sa vapeur (mais, dans ce dernier cas, le fond de la plaque reste toujours sombre, quoique les couleurs se soient reproduites), on obtient toutes les couleurs par la lumière, mais le jaune seul a de la vivacité. J'ai obtenu de très-beaux jaunes avec un bain composé d'eau légèrement acidulée d'acide chlorhydrique avec un sel de cuivre. Le rayon vert s'obtient avec l'acide borique ou le chlorure de nickel, ainsi qu'avec tous les sels de cuivre. Le rayon bleu s'obtient avec le chlorure double de cuivre et d'ammoniaque.

Le rayon indigo s'obtient avec la même substance.

Le rayon violet s'obtient avec le chlorure de strontium et le sulfate de cuivre.

Enfin, si l'on brûle de l'alcool aiguisé d'acide chlorhydrique, on obtient une flamme jaune, bleue et verdâtre, et si l'on prépare une plaque d'argent avec une eau acidulée d'acide chlorhydrique, on obtient, par la lumière, toutes les couleurs; mais le fond de la plaque est toujours noir, et cette préparation de la plaque ne peut avoir lieu qu'au moyen de la pile.

Voilà donc toutes les substances qui donnent des flammes colorées, qui donnent aussi des images colorées par la lumière !

Si je prends, maintenant, toutes les substances qui ne donnent pas de coloration à la flamme, je n'aurai également pas d'images colorées par la lumière, c'est-à-dire qu'il ne se produira sur la plaque qu'une image négative, et qui ne sera composée que de noir et de blanc, comme dans la photographie ordinaire.

Quelques substances donnent des flammes blanches,

telles que le chlorure d'antimoine, le chlorate de pl[illegible] et le chlorure de zinc. Les deux premiers donnent [illegible] flamme blanche azurée, et le dernier une flamme blan[illegible] faiblement colorée en vert et en bleu. Ces trois chlor[illegible] ne donnent pas de couleur par la lumière si on les emp[illegible] seuls; mais si on les mélange avec d'autres substances [illegible] produisent des couleurs, on obtiendra, en outre, des fon[illegible] blancs : chose très-difficile, parce que, par le fait, [illegible] n'existe pas de noir ni de blanc proprement dit dans [illegible] phénomènes de colorations, et si je suis parvenu à en o[illegible] tenir, ce n'est qu'au moyen du chlorure de zinc ou du ch[illegible] rate de plomb que j'ajoute à mes bains, mais en très-faib[illegible] quantité, parce qu'ils empêchent la reproduction des co[illegible] leurs.

J'ai reproduit toutes les couleurs du modèle en préparan[illegible] la plaque avec un bain composé de deutochlorure de cuivre. Ce résultat s'explique bien, ce me semble, par l'observation qu'une flamme d'alcool ou de bois dans laquelle on a projeté du chlorure de cuivre, ne présente pas seulement du vert, mais encore successivement toutes les autres couleurs du spectre, selon l'intensité du feu; il en est de même de presque tous les sels de cuivre mélangés à du chlore.

Je renverrai actuellement au supplément de mon Mémoire, que l'on trouvera en entier à la fin de cet extrait, et dans lequel j'ai placé par catégories toutes les substances qui, à l'état de chlorures ou de chlorates, ont une action dans ces phénomènes de coloration. Les substances qui ne donnent pas de flammes colorées ne donnent pas non plus d'images colorées par la lumière.

Je donne, dans mon Mémoire, la composition des bains avec lesquels on prépare la plaque d'argent; mais comme il y en a beaucoup, et que, cependant, je n'ai pas signalé toutes les combinaisons que j'ai faites, j'en ai choisi deux ou trois qui m'ont paru préférables, surtout pour préparer la plaque sans faire usage de la pile.

J'ai déjà dit que le chlore liquide impressionnait la

d'argent par une simple immersion et donnait toutes
leurs, mais elles sont faibles (à l'exception du jaune) ;
nt à ce que la couche est trop mince, et l'on ne peut
re épaisse qu'au moyen de la pile.
n met un sel de cuivre dans du chlore liquide, on
ra une couche très-épaisse par une simple immer-
ais le mélange du cuivre et du chlore liquide se fait
s mal ; je préfère prendre du deutochlorure de
auquel j'ajoute trois quarts en poids d'eau. Ce bain
le très-bons résultats ; cependant il est un mélange
préfère, c'est de mettre parties égales de chlorure de
et de chlorure de fer avec trois quarts d'eau. Le
e de fer a, comme celui de cuivre, la propriété
ssionner la plaque d'argent et de produire plu-
couleurs ; mais elles sont infiniment plus faibles,
toujours le jaune qui domine : cela est d'accord
couleur jaune de la flamme produite par le chlorure

on forme un bain composé de toutes les substances
parément, donnent une couleur dominante, on ob-
des couleurs très-vives ; mais la grande difficulté
s mélanger en proportions convenables, car il arrive
toujours que quelques couleurs se trouvent exclues
utres : cependant on doit arriver à les reproduire

ois dire qu'il existe de très-grandes difficultés dans
tion de ces couleurs, plus encore que dans tous les
procédés de photographie ; car, quoique préparant
ques de la même manière, on n'est pas toujours sûr
ir les mêmes résultats : cela tient en outre à l'épais-
la couche de chlore et à son degré de concentra-
ui varie selon les chlorures que l'on a employés.
*'influence de l'eau et de la chaleur dans ces phé-
es de coloration par la lumière.* — L'influence de
st incontestable, puisque le chlore sec ne produit

aucun effet, tandis que si l'on emploie le chlore liq
par immersion ou en vapeur aqueuse, on obtient la r
duction de toutes les couleurs, telle que nous l'avon
gnalée.

Dans le rapport que j'ai cru remarquer entre le c
rique et ces effets de lumière, j'ai observé ceux-ci :
que, lorsque la plaque a été soumise à l'action du chl
il faut la chauffer au-dessus d'une lampe à alcool, et
prend alors successivement toutes les teintes produites
la chaleur. Ainsi la plaque qui, au sortir du bain, a
couleur obscure, prend par la chaleur successivemen
teintes suivantes : rouge-brun, rouge-cerise, rouge
rouge-blanc ou teinte blanche; dans ce dernier état,
ne produit plus d'effet étant exposée à la lumière; c'
la couleur rouge-cerise qu'il faut l'exposer.

Observations générales sur ces phénomènes. — C
remarquable, c'est que, pour obtenir ces effets de co
tion, il faut absolument opérer sur de l'argent métall
préparé comme je l'ai dit, car l'azotate, le chlorure
cyanure et le sulfate d'argent étendus sur papier ou en
d'amidon, ne donnent que du noir et du blanc; peut-
en employant la poudre d'argent mélangée aux substa
que j'ai indiquées, obtiendrait-on quelque résultat en
duisant une feuille de papier : c'est une expérience q
me propose de faire. J'ai déjà essayé le papier argenté
cela m'a donné d'assez bons résultats, mais inférieurs
plaque métallique.

Nous avons vu que toutes les substances qui donn
des flammes colorées, donnaient aussi des images col
et presque toujours en rapport avec leurs couleurs re
tives; car, si je ne suis pas parvenu à isoler complète
un rayon, c'est-à-dire à n'obtenir qu'une seule couleu
la plaque, à l'exclusion de toutes les autres, j'ai tou
obtenu une couleur dominante, selon la substance
j'employais; et si l'on ne peut pas obtenir une seule

r, c'est que le chlore, qui est la substance indispensable
r les obtenir, les produit toutes par lui-même, comme
s l'avons vu en opérant avec du chlore liquide pur :
is, dans ce cas, les couleurs sont toujours très-faibles,
dis qu'elles prennent séparément beaucoup de vivacité,
n la substance que l'on a employée en mélange avec le
lore liquide.

L'iode et le brome, en cela bien différents du chlore, peuvent être employés ; ni l'un ni l'autre ne produisent couleurs, ils ne produisent pas de flammes colorées : me lorsqu'ils sont combinés à du cuivre, ils ne donnent 'une flamme verte. Le chlore, à l'état de chlorure ou de lorate, est la seule substance qui donne à l'argent mélique la propriété de se colorer par la lumière.

J'ai observé aussi que certaines couleurs étaient plus gues à paraître, et que, pendant ce temps-là, d'autres aient disperu.

Manière d'opérer. — J'ai formé tous mes bains au quart poids de chlorure et de trois quarts d'eau; ce sont les oportions qui m'ont paru les plus convenables. Quand emploie l'acide chlorhydrique avec un sel de cuivre, il t l'étendre d'un dixième d'eau. Le chlore liquide ne doit s être trop concentré si l'on veut obtenir de beaux jaunes.

Dans les bains composés de plusieurs substances, il est sentiel de filtrer ou de décanter la liqueur afin de l'avoir s-claire ; on la renferme ensuite dans un vase pour s'en rvir au besoin.

On ne doit prendre de cette liqueur que la quantité nécessaire pour préparer deux plaques au plus, parce que le in s'affaiblit considérablement à chaque opération ; cendant on peut le renforcer en y mettant quelques gouttes acide chlorhydrique.

Ayant opéré sur de l'argent au titre de 1000, j'ai obtenu s couleurs plus vives que sur une plaque qui contenait un xième de cuivre. J'ai ensuite opéré sur une plaque d'ar-

gent à 718 millièmes, et je n'ai obtenu que des coul
très-obscures, de sorte que l'argent le plus pur sera tou
préférable pour ces expériences.

La plaque étant parfaitement décapée (et pour ce
faut se servir d'ammoniaque et de tripoli), on la plo
dans le bain d'un seul coup, et on l'y laisse pendant q
ques minutes, afin d'avoir une couche assez épaisse.
sortant la plaque du bain, on la rince à grande eau, p
on la sèche avec une lampe à alcool. Elle a pris dans
bain une couleur obscure, presque noire, et, si on l'e
posait ainsi à la lumière, les couleurs se produiraient ég
lement, mais beaucoup plus lentement, et le fond ser
toujours noir; il faut, pour avoir un fond clair et po
que l'opération soit plus rapide, que la plaque soit am
née par la chaleur à une teinte rouge-cerise : c'est la ch
leur à laquelle, comme je l'ai dit, il faut l'exposer à
lumière. La durée de l'exposition varie beaucoup, selon l
préparation de la plaque; mais on peut calculer qu'il faut
deux ou trois heures pour obtenir une épreuve dans la
chambre obscure. C'est très-long sans doute : mais, la ques-
tion d'accélération étant tout à fait secondaire, je ne m'en
suis pas encore occupé; cependant j'indiquerai déjà le fluo-
rure de sodium comme accélérant beaucoup l'opération; il
en est de même de l'acide chlorique et de tous les chlorates.

Du fixage des épreuves. — Jusqu'à ce jour, je ne suis pas encore parvenu à fixer les couleurs; elles disparaissent très-promptement, même à la lumière diffuse : rien ne peut les maintenir. J'ai fait plus de cent essais, sans avoir pu obtenir le moindre résultat satisfaisant. J'ai passé en revue tous les acides et tous les alcalis; les premiers avivent les couleurs, et les seconds les enlèvent, en détruisant le chlore pour ne laisser qu'une image noire. C'est par ce moyen que j'ai obtenu des épreuves identiques à l'image daguerrienne, et d'autres sans miroitage; il suffit, pour obtenir ces dernières, d'avoir une couche très-épaisse sur

plaque, et de la laisser moins de temps exposée à la lumière.

Le problème de la fixation des couleurs me paraît bien difficile à résoudre; cependant je n'en continue pas moins mes recherches, et je suis déjà parvenu à les fixer momentanément par une exposition des couleurs à la flamme de l'alcool contenant du chlorure de sodium ou de l'hydrochlorate d'ammoniaque.

Supplément au Mémoire déposé à l'Académie le 24 mars 1851.

J'ai constaté que ces phénomènes de coloration par la lumière se manifestaient également dans le vide comme dans l'air; par conséquent, l'oxygène ne joue aucun rôle. Il reste donc trois agents : l'eau, la chaleur et la lumière, qui est le principal.

J'ai étudié la propriété de chaque chlorure, soit séparément, soit simultanément, avec le chlore liquide ou avec un sel de cuivre; car, si l'on ne prépare pas la plaque d'argent par le moyen de la pile, un sel de cuivre est indispensable pour obtenir une couche d'une certaine épaisseur, et, dans ce cas, les couleurs sont beaucoup plus vives.

Je vais donner la nomenclature de tous les chlorures que j'ai employés, en les plaçant par catégorie.

Action et propriété de chaque chlorure.

Première catégorie. — Chlorures qui, étant employés seuls, impressionnent la plaque d'argent de manière à lui faire prendre toutes les couleurs du modèle ou plusieurs d'entre elles. Ce sont les chlorures de cuivre, de fer, de nickel, de potassium, et les hypochlorites de soude et de chaux, ainsi que le chlore liquide par immersion ou en vapeur.

Deuxième catégorie. — Chlorures qui, étant employés seuls, impressionnent la plaque d'argent, et qui cependant

ne donnent pas d'images colorées par la lumière. Ce
les chlorures d'arsenic, d'antimoine, de brome, de
muth, d'iode, d'or, de platine et de soufre.

Troisième catégorie. — Chlorures qui, employés se
n'impressionnent pas la plaque d'argent, mais qui l'imp
sionnent si on les mélange à un sel de cuivre (surtout a
le sulfate ou le nitrate de cuivre), et qui alors donnent
couleurs par la lumière. Ce sont les chlorures d'alu
nium, d'argent, de barium, de cadmium, de calcium,
cobalt, d'étain, de manganèse, de magnésium, de ph
phore, de sodium, de strontium et de zinc. L'acide ch
hydrique étendu d'un dixième d'eau, et mélangé à du n
trate de cuivre, impressionne la plaque et donne toutes l
couleurs.

Quatrième catégorie. — Chlorures ou chlorates qu
quoique mélangés à un sel de cuivre, et impressionnant l
plaque d'argent, ne donnent pas de couleurs par la lumière
Ce sont le chlorure de mercure et le chlorate de plomb.

En résumé, la première catégorie contient les chlorures
qui, étant employés seuls, impressionnent la plaque d'argent
de manière à lui faire prendre toutes les couleurs ou seule-
ment quelques-unes; et, chose remarquable, c'est que tous
ces chlorures donnent également, par la combustion, des
flammes colorées.

La deuxième catégorie contient des chlorures qui cepen-
dant impressionnent la plaque d'argent étant employés
seuls; mais comme aucun d'eux ne donne de flammes co-
lorées, ils ne donnent également pas d'images colorées par
la lumière, lors même qu'on les mélange à un sel de cuivre.

La troisième catégorie contient les chlorures qui, étant
seuls, n'impressionnent pas la plaque d'argent, et qui ne
donnent pas de flammes colorées (à l'exception de ceux de
barium et de zinc, qui donnent de faibles couleurs); mais,
en les mélangeant avec un sel de cuivre, il se forme un
chlorure de cuivre : alors ils deviennent, dans ce cas, sus-

ptibles d'impressionner la plaque, et de produire des leurs par la lumière.

La quatrième catégorie contient les chlorures qui, quoique mélangés à un sel de cuivre, et impressionnant, dans s cas, la plaque d'argent, ne produisent pas de couleur r la lumière ; ils ne donnent également pas de flammes lorées si on les brûle seuls, et combinés à un sel de cuivre ne donnent qu'une flamme verte.

Il existe encore un grand nombre de chlorures que je ai pas expérimentés, parce qu'ils sont d'un prix trop levé pour que j'aie pu les employer, surtout à former des ains.

Ces chlorures sont ceux de carbone, de cérium, de hrome, de cyanogène, d'iridium, de molybdène, de paladium, de silicium, de rhodium, de titane, de tungstène t de zirconium.

Conclusion.

Depuis près d'un an que je m'occupe de ces expériences, j'ai observé bien des faits. J'ai répété un grand nombre de fois les mêmes expériences, et ce n'est qu'après cela que j'ai écrit le Mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie.

Maintenant, d'après les faits que j'ai observés, il paraît bien que, s'il n'y a pas similitude complète entre les flammes colorées et les images colorées obtenues par la lumière sur une plaque d'argent préparée avec les chlorures ou chlorates qui colorent les flammes, il y a une grande analogie entre ces couleurs.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MAI 1851.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL	VENTS
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.	A MIDI.	à MIDI.
1	752,18	+10,8		752,62	+11,1		752,08	+12,6		751,92	+ 6,8		+13,4	+ 4,7	Couvert.....	O.
2	748,14	+10,8		748,42	+10,1		749,00	+12,1		751,32	+ 8,7		+12,9	+ 6,6	Couvert, pluie.....	S. O.
3	753,08	+10,0		752,45	+11,8		751,71	+11,2		750,80	+ 7,0		+12,5	+ 6,2	Couvert.....	N.
4	747,39	+11,5		746,65	+10,5		745,76	+ 9,8		747,87	+ 4,9		+10,8	+ 5,6	Couvert.....	S. O.
5	750,00	+ 6,6		750,37	+ 9,0		750,62	+ 7,8		751,67	+ 5,2		+10,2	+ 2,8	Nuageux.....	O.
6	752,30	+ 9,2		752,84	+ 7,6		753,17	+11,0		755,38	+ 6,0		+11,7	+ 3,0	Couvert.....	O.
7	756,17	+11,2		755,92	+13,5		755,50	+12,9		755,92	+ 8,4		+14,9	+ 3,4	Quelques éclaircies..	S. O.
8	753,67	+13,6		752,13	+15,7		750,86	+15,2		750,37	+ 9,8		+16,0	+ 3,4	Quelques éclaircies .	S. S. O
9	751,28	+15,0		750,78	+17,1		749,75	+17,9		749,53	+13,6		+17,5	+ 5,2	Nuageux.....	S. S. E.
10	747,52	+14,2		748,62	+18,2		749,32	+18,9		750,51	+ 9,9		+19,2	+ 9,8	Très-nuageux.....	S. S. E.
11	749,28	+11,8		748,86	+12,3		748,02	+14,0		748,29	+12,1		+15,1	+ 8,7	Pluie abondante.....	S. E.
12	751,18	+12,6		752,31	+16,2		753,09	+16,0		755,44	+11,8		+17,7	+10,5	Couvert.....	N. N. E.
13	759,84	+12,6		760,10	+13,3		760,25	+11,7		761,79	+ 8,1		+13,6	+ 9,0	Éclaircies.....	N. N. E.
14	761,27	+ 9,9		761,10	+12,1		760,37	+13,5		760,64	+10,0		+13,7	+ 6,8	Couvert.....	N.
15	760,22	+11,0		759,73	+13,4		759,00	+13,5		759,79	+10,6		+13,8	+ 5,4	Très-nuageux.....	N. E.
16	760,07	+12,5		759,72	+15,1		758,90	+15,7		758,63	+11,2		+15,9	+ 4,5	Beau.....	O.
17	758,43	+16,5		757,70	+18,9		756,84	+18,1		757,57	+14,1		+19,7	+ 4,8	Très-nuageux.....	S. S. O.
18	757,94	+17,6		757,07	+20,0		756,55	+17,0		756,23	+12,5		+20,5	+ 7,8	Éclaircies.....	S. O.
19	757,58	+13,4		757,24	+15,7		757,12	+14,9		758,47	+10,5		+16,4	+ 9,8	Nuageux.....	O.
20	762,69	+12,3		762,00	+14,1		763,48	+14,5		765,34	+10,3		+15,5	+ 7,3	Nuageux.....	O.
21	765,18	+15,4		764,96	+15,1		764,36	+15,4		764,10	+12,5		+15,7	+ 6,8	Couvert.....	O.
22	764,34	+16,1		763,74	+18,3		763,18	+20,4		763,23	+17,0		+20,2	+11,6	Couvert.....	O.
23	763,20	+19,0		762,76	+19,7		761,67	+21,3		762,15	+17,2		+21,6	+10,7	Couvert.....	N.
24	764,34	+14,2		764,13	+16,3		763,95	+16,6		764,32	+14,0		+17,1	+11,4	Beau.....	N. E.
25	763,70	+15,5		762,72	+18,0		760,39	+19,8		756,70	+15,9		+20,6	+ 8,2	Beau.....	N. E.
26	753,85	+11,9		753,45	+15,6		754,10	+16,1		755,48	+11,7		+17,1	+11,5	Très-nuageux.....	O. N. O.
27	757,46	+11,0		757,31	+12,9		756 81	+ 15,4		758,84	+10,0		+15,9	+ 5,7	Couvert.....	N. N. O.
28	760,57	+10,7		760,65	+13,8		760,65	+15,0		763,02	+12,4		+15,5	+ 6,2	Très-nuageux.....	N. N. E.
29	765,85	+13,5		765,36	+15,4		764,79	+18,6		764,68	+17,5		+19,7	+ 7,6	Très-nuageux.....	N. E. fort.
30	766,73	+12,6		766,26	+16,8		765,62	+17,6		766,15	+14,7		+18,7	+10,7	Nuageux.....	N. E.

NOTE

Sur le sulfure d'azote de M. Grégory, et sur la variété de soufre insoluble dans le sulfure de carbone ;

PAR MM. M.-J. FORDOS ET A. GÉLIS.

On indique dans plusieurs Traités de Chimie, et particulièrement dans celui de M. Gmelin, sous le nom de *sulfure d'azote de Grégory*, un composé décrit par ce chimiste (*Journal de Pharmacie*, 1835, t. XXI, et 1836, t. XXII, p. 301), et qui serait formé de douze proportions de soufre et d'une seule d'azote.

Nous avons cherché à reproduire ce singulier composé que M. Grégory lui-même, lorsqu'il publia son analyse, ne regardait pas comme définitivement acquis à la science, puisqu'il promit alors un travail de vérification qu'il ne paraît pas avoir exécuté depuis, et les résultats par nous obtenus nous ont conduits à ne pas admettre l'existence de ce corps.

Nous nous sommes attachés à suivre toutes les indications de M. Grégory. Nous avons traité le chlorure de soufre par l'ammoniaque liquide, et, après avoir observé toutes les particularités qui accompagnent la réaction, particularités décrites avec le plus grand soin par M. Soubeiran (1), nous avons obtenu un corps jaune possédant tous les caractères attribués au sulfure d'azote de M. Grégory, et surtout celui de donner une liqueur colorée en rouge-améthyste lorsqu'on le traite par l'alcool légèrement potassé; du reste, cette coloration disparaît promptement.

Cette propriété appartenant aussi au sulfure d'azote mêlé de soufre, il nous a paru probable qu'elle était due à ces deux corps; et, pour constater leur présence dans la masse que nous examinions, nous avons eu recours au sulfure de carbone.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXVII.

Ce liquide a dissous la plus grande partie de la m

En s'évaporant, la dissolution a laissé pour rés nombreux octaèdres de soufre salis par une petite q de sulfure d'azote ordinaire, et, dans quelques cas, traces d'un corps jaune très-peu soluble dans le de carbone, et que nous avons reconnu pour un c de chlorure de soufre et de sulfure d'azote que nous rons ailleurs (1).

Toutes les fois que ce cas s'est présenté, l'épuisem résidu par le sulfure de carbone a exigé de nombreu tements, et la propriété de se colorer en rouge-améthy la dissolution alcoolique de potasse a longtemps persi la combinaison dont nous parlons possède cette pr aussi bien que le mélange de soufre et de sulfure d'a

Le résidu insoluble dans le sulfure de carbone a été puis pulvérisé et lavé à l'eau distillée chaude pour une petite quantité de chlorhydrate d'ammoniaque qu tenait encore. Après cette purification indispensabl avons cherché par l'analyse quelle pouvait être sa comp

Nous avons vu d'abord qu'il ne contenait pas d'az

Nous avons constaté ensuite qu'il ne contenait ni hydrogène, ni chlore.

Dès lors se présentait l'hypothèse d'un oxyde de et, pour en vérifier l'exactitude, nous avons traité u taine quantité de cette matière par l'acide azotique f afin de doser le soufre; mais le poids du sulfate de obtenu nous a fait voir que cette matière était entiè formée de soufre.

Nous avons dit qu'elle était insoluble dans le sul carbone; ce n'était donc pas du soufre ordinaire, un soufre modifié analogue au phosphore modifié par M. Schrœtter.

M. Ch. Deville a publié (*Comptes rendus des séa*

(1) C'est le chlorosulfate trisulfo-azotique Cl S, 3 (Az S^3). Voir *A Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXXII, page 406.

l'Académie des Sciences, 1848), à la suite de plusieurs observations importantes sur le soufre, ce fait remarquable, que les soufres qui ont subi un refroidissement brusque ou *une trempe*, comme le soufre en fleurs et le soufre mou, laissent, quand on les traite par le sulfure de carbone, un résidu très-notable et qui varie de 0,11 à 0,35 du poids primitif.

Il était évident que le soufre insoluble dans le sulfure de carbone qui s'était présenté à nous en cherchant à reproduire le sulfure d'azote de M. Grégory, n'était autre que le soufre trouvé par M. Deville dans la fleur de soufre et le soufre mou.

Cependant M. Deville attribue cette modification du soufre à un refroidissement brusque ou à un phénomène de trempe; et cette explication, très-convenable pour les circonstances particulières de production observées par ce savant, ne saurait être acceptée pour le cas où ce soufre insoluble s'est présenté à nous, la chaleur n'intervenant ici en aucune manière.

Cette production par la voie humide d'un soufre modifié, insoluble dans le sulfure de carbone, nous a fait penser qu'il serait possible d'en obtenir dans d'autres circonstances, et nous n'avons pas tardé à reconnaître qu'il s'en trouve une très-grande quantité dans le dépôt que produit le traitement des chlorures de soufre par l'eau.

Ce résultat démontre clairement que, dans l'expérience de M. Grégory, l'ammoniaque n'intervient que pour donner naissance à divers composés qui se mêlent au soufre et en changent les propriétés.

Nous avons encore rencontré le soufre modifié dans le dépôt résultant de l'action de l'acide chlorhydrique sur les hyposulfites en dissolution.

On en trouve également et en quantité notable dans le précipité produit par l'action de l'acide sulfureux sur l'acide sulfhydrique en présence de l'eau.

Le soufre que donnent les polysulfures lorsqu'on les traite par des acides n'en contient que des traces.

Le soufre naturel cristallisé, celui qui se dépose auprès des sources sulfureuses et des fosses d'aisances, et celui qui provient de l'oxydation lente de l'hydrogène sulfuré en dissolution, sont, au contraire, solubles sans résidu dans le sulfure de carbone.

Toutes les fois que les chimistes ont eu à constater la production des différents états isomériques du soufre, c'était toujours par l'action de la chaleur qu'ils avaient été obtenus, et personne avant nous n'avait indiqué la possibilité de la formation de l'un de ces soufres au sein de l'eau. Nous pensons que l'on ne s'arrêtera pas dans cette voie, et nous-mêmes, dans le cours de nos recherches antérieures et en nous occupant de la préparation du sel de M. Langlois, nous avons obtenu à diverses reprises, et dans l'eau bouillante, des dépôts de *soufre rouge* que nous examinerons de nouveau, et qui pourraient bien être semblables à la modification rouge du soufre que l'on obtient par la chaleur.

Le soufre, insoluble dans le sulfure de carbone, l'est également dans l'eau, l'alcool et l'éther. Il peut bouillir longtemps dans l'eau distillée sans perdre son insolubilité.

Lorsqu'on le chauffe au bain d'huile vers 110 degrés, dans un tube de verre où l'on a placé comme *témoin* un morceau de soufre ordinaire, il reste quelque temps solide après que le soufre ordinaire est fondu; mais si l'on maintient la température entre 110 et 120 degrés, peu à peu il se modifie, fond, et n'est plus alors que du soufre ordinaire, soluble sans résidu dans le sulfure de carbone.

Nous nous proposons de faire une étude comparative des différents soufres à l'état libre; nous examinerons également s'il ne serait pas possible de suivre les modifications du soufre dans les combinaisons que ce corps peut former, et quelle influence elles peuvent exercer sur la constitution et les propriétés des acides de la série *thionique*.

MÉMOIRE SUR LE SULFURE D'AZOTE (1);

PAR MM. M.-J. FORDOS ET A. GÉLIS.

Le sulfure d'azote est connu depuis douze ans environ, et bien que, depuis cette époque, aucun chimiste ne se soit occupé de la réaction qui le produit, l'aridité du sujet nous aurait probablement détournés d'en recommencer l'étude, si, en lisant attentivement les propriétés attribuées à ce corps, notre attention n'avait été appelée sur certaines assertions qui pouvaient rendre douteux quelques-uns des résultats indiqués par nous-mêmes dans nos publications sur les acides du soufre.

M. Soubeiran a attribué au sulfure d'azote la formule

$$S^3Az;$$

c'est, suivant lui, de l'ammoniaque dans laquelle tout l'hydrogène est remplacé par du soufre, et, bien qu'il ait dosé directement chacun des éléments de ce composé, c'est principalement sur l'action particulière que l'eau exercerait sur le sulfure d'azote à la température de l'ébullition, qu'il s'est appuyé pour en établir la formule. Or, dans cette réaction, 3 équivalents d'eau seraient fixés, rien ne se dégagerait, et il résulterait de cette fixation un sel qui aurait pour formule

$$S^3O^4, H^4AzO,$$

c'est-à-dire un sesquihyposulfite d'ammoniaque.

Cette assertion a suffi pour nous faire douter de l'exac-

(1) On a indiqué deux combinaisons de soufre et d'azote; l'une a été décrite par M. Grégory (*Journal de Pharmacie*, tomes XXI et XXII), l'autre a été découverte par M. Soubeiran (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXVII, page 71). Nous avons fait voir dans la Note, page 385, que la première n'existe pas; c'est par conséquent à la seconde que se rapportent tous les faits contenus dans ce Mémoire.

titude de l'observation ; car, s'il est possible d'admettre qu
l'on obtiendra, dans l'avenir, des hyposulfites basiques c
acides, toujours est-il que, dans le présent, on ne conna
que des hyposulfites neutres de la formule

$$S^2O^2, MO,$$

et nous croyons utile de rappeler que, dans tous les cas o
l'on avait cru pouvoir admettre la formation d'un hyposul
fite d'une formule différente, un examen plus complet nou
a toujours fait reconnaître des erreurs d'expérience.

Il nous sembla donc, tout d'abord, que l'étude de l'ac
tion de l'eau sur le sulfure d'azote devait être reprise, et le
progrès considérables que l'analyse des composés sulfuré
a faits dans ces derniers temps, nous donnaient l'espoir d
surmonter quelques-unes des difficultés qui ont dû induir
en erreur les chimistes qui nous ont précédés dans cett
tâche difficile, et d'approfondir quelques-uns des points d
la question qu'ils n'avaient pu qu'effleurer.

Notre travail était presque entièrement terminé, lorsqu
M. Auguste Laurent publia, dans la *Revue scientifique*, s
idées sur la constitution des composés ammoniacaux, et dan
son Mémoire il a consacré quelques pages au sulfure d'azo
et aux divers produits qui ont été observés dans sa prépa
ration.

Ce chimiste n'admet pas l'existence du sulfure d'azote
le corps qui, suivant lui, a été improprement désigné so
ce nom, doit contenir de l'hydrogène, et sa compositio
doit être représentée par la formule

$$S^2AzH.$$

Les résultats que nous avions obtenus, quoique très-di
férents de ceux de M. Soubeiran, ne nous permettaient p
d'adopter cette formule nouvelle ; cependant, comme l'op
nion de M. Auguste Laurent était appuyée sur quelqu
expériences que nous discuterons plus loin, nous avons c

devoir vérifier toutes les nôtres, et c'est après cette vérification que nous nous décidons à les publier.

Dès le début de notre travail, nous nous sommes attachés à reproduire les différents corps signalés comme les produits de la réaction de l'ammoniaque gazeuse sur le perchlorure de soufre, afin de les soumettre à une étude nouvelle; et, pour obtenir des produits complétement identiques, nous avons dû suivre exactement les procédés et les indications de nos devanciers. Plus tard, et éclairés par nos premiers résultats, nous avons multiplié les expériences en en variant les conditions afin d'arriver à la connaissance de la théorie de la réaction; mais l'ordre que nous avions suivi dans l'expérimentation ne nous a pas semblé être celui qui se prêtait le mieux à l'exposé des résultats obtenus, et nous en avons adopté un complétement inverse dans ce Mémoire que nous divisons en deux parties.

Dans la première, nous nous occupons de la préparation du sulfure d'azote par un procédé préférable à l'ancien, et nous décrivons les propriétés de ce corps.

Dans la seconde, nous passons en revue tout ce qui a été dit touchant l'action de l'ammoniaque sur les chlorures de soufre; nous étudions les différentes phases de l'opération, et, après avoir démontré que les combinaisons directes d'ammoniaque et de chlorure de soufre, admises par les chimistes, n'existent pas, nous rassemblons tous les faits propres à éclairer la formation du sulfure d'azote par cette réaction, et à bien faire comprendre les diverses métamorphoses par lesquelles les composés employés au début passent successivement.

PREMIÈRE PARTIE.

Préparation et propriétés du sulfure d'azote.

Le principe du procédé que nous avons suivi pour préparer le sulfure d'azote est le même que celui de M. Sou-

beiran. Comme lui, nous avons utilisé la réaction de l'ammoniaque gazeuse sur le perchlorure de soufre ; mais, au lieu de faire réagir l'un sur l'autre ces deux corps isolés et purs dans un vase de large capacité, conditions dans lesquelles il est fort difficile de préserver les produits de diverses altérations plus ou moins profondes, que nous indiquerons plus loin, nous nous sommes très-bien trouvés de faire arriver le gaz ammoniac dans le chlorure de soufre dissous dans le sulfure de carbone, composé sur lequel les chlorures de soufre sont tout à fait sans action.

Cette innovation nous a permis de simplifier beaucoup une opération que l'on considère avec raison comme très-compliquée, d'étudier non-seulement l'action du gaz ammoniac sur le perchlorure de soufre, mais aussi celle qu'il exerce sur le chlorure saturé de soufre, et elle nous a fourni quelques observations nouvelles qui nous ont indiqué la nature exacte des composés dont la formation précède celle du sulfure d'azote.

Pour que l'opération marche bien, il est bon d'étendre le chlorure de soufre de huit à dix fois son volume de sulfure de carbone.

Dès les premières bulles d'ammoniaque qui arrivent dans le mélange, on voit se former d'abondants flocons peu colorés, qui ont été reconnus pour être du chlorhydrate d'ammoniaque, et la teinte rougeâtre du liquide se fonce sensiblement. Cette augmentation de coloration est due principalement à la formation d'un composé rouge-cochenille que l'on voit bientôt se déposer en abondance, et qui est en partie soluble dans le liquide.

Ce composé rouge communique sa couleur au sel ammoniac, qui se produit et se dépose en même temps que lui.

Plus tard, sous l'influence de l'ammoniaque qui continue à arriver, le produit rouge se détruit, et est remplacé par une poudre brune qu'un excès d'ammoniaque décompose à son tour.

Nous insistons fort peu sur tous ces détails parce que nous vons y revenir longuement dans une autre partie de ce Mé- oire.

Quand la matière brune a entièrement disparu, l'opéra- on est terminée.

Les flocons qui nagent dans le liquide sont alors très-peu olorés, et ce liquide a une belle couleur jaune-orangé.

Il faut s'arrêter à ce point; si l'on continuait le dégage- ent de l'ammoniaque, on pourrait détruire le produit ormé (1). Du reste, ce point de l'opération est très-facile à saisir.

On filtre aussitôt pour séparer les flocons qui nagent dans la liqueur, et la dissolution filtrée ne contient que du soufre et du sulfure d'azote. Il suffit de l'abandonner à l'évapora- tion spontanée pour séparer ces deux produits; le sulfure d'azote, qui est moins soluble dans le sulfure de carbone, cristallise le premier.

Pour obtenir la totalité du sulfure d'azote, il faut traiter à plusieurs reprises le résidu resté sur le filtre par le sul- fure de carbone bouillant, jusqu'à ce qu'il ne colore plus ce dissolvant.

Quand l'opération a été bien conduite, le résidu inso- luble dans le sulfure de carbone, et que l'eau dissout entiè- rement, n'est que du chlorhydrate d'ammoniaque.

Le sulfure d'azote, ainsi préparé, se présente sous la forme de cristaux transparents d'un beau jaune doré. Ces cristaux sont des prismes rhomboïdaux, et M. Nicklès, qui les a étudiés, a bien voulu indiquer les résultats de son examen dans une Note qui fait suite à ce Mémoire.

---

(1) L'ammoniaque gazeuse paraît sans action sur le sulfure d'azote pul- vérisé; mais si l'on sature d'ammoniaque une dissolution de sulfure d'azote dans le sulfure de carbone, du jour au lendemain la dissolution se déco- lore, et l'on obtient divers produits à la production desquels le sulfure de carbone a contribué, car nous avons reconnu déjà parmi ces produits le sulfure et le sulfocyanure d'ammonium.

Réduit en poudre, il est d'un jaune éclatant; mais sa vérisation ne doit être opérée que sur de très-petites tités et avec de grandes précautions, car il suffit du moi choc de sa poudre sur un corps dur pour déterminer une détonation : 2 centigrammes de sulfure d'azote, placés un mortier d'agate et frappés d'un coup sec avec le pi ont fait entendre un bruit semblable à celui d'un cou fusil, et le pilon et le mortier ont été brisés en plusi fragments.

Lorsqu'on approche le sulfure d'azote en poudre ou cristaux d'un corps en ignition, il fuse sans détoner.

Chauffé au bain d'huile dans un tube fermé par un bo il se détruit avec explosion vers 157 degrés centigrades, dégageant de l'azote et du soufre en vapeurs qui entraîn des traces de la substance indécomposée.

L'odeur du sulfure d'azote est peu sensible. Le frottem y développe au plus haut degré la propriété d'adhérer verre et au papier. Il irrite fortement les muqueuses, et l'on ne saurait trop, lorsqu'on en prépare, préserver de son contact le nez et les paupières.

Le sulfure d'azote ne possède pas la propriété indiquée par M. Soubeiran, de colorer en rouge-améthyste une dissolution alcoolique étendue de potasse; mais il donne cette coloration, qui disparaît du reste rapidement, lorsqu'il est mêlé de soufre, ou lorsqu'on le traite par l'alcool contenant une petite quantité d'un sulfure alcalin.

Le sulfure d'azote se combine en plusieurs proportions avec les chlorures de soufre; mais comme l'étude de ces composés se lie étroitement à l'explication des phénomènes qui accompagnent la production du sulfure d'azote, nous y reviendrons lorsque nous aurons indiqué la composition de ce produit.

L'eau le mouille à peine et ne le dissout pas; l'alcool, l'éther, l'esprit de bois et l'essence de térébenthine en dissolvent de petites quantités, mais son véritable dissolvant

sulfure de carbone. Un kilogramme en dissout environ grammes à la température de l'ébullition, et l'abane sous forme de cristaux, et sans altération lorsqu'on pore de suite, condition d'autant plus essentielle, que lfure d'azote n'est pas absolument sans action sur le ure de carbone, bien que cette action ne se produise vec lenteur, et exige beaucoup de temps pour être plète.

Ici, nous croyons utile de nous arrêter un moment sur cette ération qui est des plus remarquables.

Nous avons vu des dissolutions de sulfure d'azote dans le lfure de carbone se décolorer entièrement au bout de elques mois, et nous avons reconnu dans les produits du ufre, de l'acide sulfocyanhydrique et un dépôt jaune loré qui avait l'apparence de la matière peu connue, désiée par les chimistes sous les noms de *sulfocyanogène* ou le *cyanoxysulfide*.

L'analyse que nous avons faite de la substance trouvée par ous ne conduisait à aucune des formules attribuées au sulocyanogène ; mais, comme on ne possède aucune donnée ien positive sur la composition de ce corps, nous nous proosons de les étudier comparativement tous deux, dès que ous aurons pu obtenir une quantité de produits suffisante.

M. Soubeiran parle dans son Mémoire d'une modification somérique du sulfure d'azote, qui se distinguerait de l'autre ar une couleur vert clair, et qu'il suffirait de chauffer à 100 degrés centigrades au bain-marie, ou de soumettre à 'action du gaz ammoniac pour le transformer en sulfure l'azote jaune doré. Nous pensons que cette coloration verte st due au mélange d'une matière étrangère ; car toutes les ois que nos produits ont présenté cette couleur, nous avons oujours pu la faire disparaître à l'aide du sulfure de carbone.

Le sulfure d'azote en cristaux ne s'altère pas sensiblement à l'air, mais sa poudre paraît éprouver dans l'air humide ne décomposition lente. On peut obtenir instantané-

ment cette décomposition, en traitant le sulfure d'azo l'eau à la température de l'ébullition; mais l'étude de duits de cette destruction exige la connaissance de la c sition exacte du sulfure d'azote, et nous y revien lorsque nous aurons indiqué les résultats que nous a f l'analyse de ce corps.

Analyse du sulfure d'azote.

Dosage de l'hydrogène. — La recherche de l'hydr dans le sulfure d'azote avait une grande importance nous, puisque les résultats de cette recherche devaie cider la question soulevée par M. A. Laurent. Aussi, nous mis tous nos soins à nous préserver des ch d'erreur que l'on rencontre ordinairement dans ce d'analyse.

Nous avons employé à dessein, dans toutes nos riences, des quantités de matière assez considérables pouvoir trancher nettement la question de la présen de l'absence de l'hydrogène dans cette substance.

Premier dosage, $0^{gr},5$ de sulfure d'azote ont fourni 0,015

Deuxième dosage, $0^{gr},5$ de sulfure d'azote ont fourni 0,045

Troisième dosage, 1 gramme de sulfure d'azote a fourni d'eau.

Ces résultats, surtout le dernier, qui a été fourn l'expérience faite avec le plus de soin et sur la plus g quantité de matière, prouvent suffisamment que la m examinée ne contenait pas d'hydrogène; et que par séquent la formule proposée par M. Aug. Laurent ne rait être admise. Nous ajouterons que la formule

$$S^2AzH,$$

qui avait été proposée par ce chimiste pour le sulfur zote, paraît appartenir à une autre substance.

Maintenant que nous avons montré que le compos nous occupe ne contient pas d'hydrogène, et que par

ent c'est bien un sulfure d'azote, il nous sera facile rouver que ce sulfure n'a pas la composition indiquée M. Soubeiran.

Dosage du soufre. — On a dosé le soufre par des pro- és très-différents; mais celui qui nous a paru mériter préférence, parce qu'il présente moins de difficultés dans as qui nous occupe, consiste à détruire le sulfure d'a- e par la potasse en dissolution faible, puis à terminer ydation par un excès d'une dissolution bien pure d'hy- hlorite de potasse.

Voici les résultats de quatre dosages, opérés par des océdés divers.

I. $0^{gr},4$ de matière, traités pendant très-longtemps par l'acide otique, ont fourni 2,026 de sulfate de baryte, ce qui représente 47 pour 100 de soufre dans la substance (1).

II. $0^{gr},3$ de sulfure d'azote, traités par l'acide azotique bouil- t pendant un jour, et une petite quantité de chlorate de po- se, ont donné 1,506 de sulfate de baryte, représentant 68,86 soufre pour 100.

III. $0^{gr},2$ de sulfure d'azote, traités par la potasse étendue et hypochlorite de potasse, ont fourni 1,02 de sulfate de baryte, représentant 69,95 de soufre pour 100.

IV. $0^{gr},2$ de sulfure d'azote, traités par l'acide azotique fu- mant, ont fourni 1,007 de sulfate de baryte, ce qui représente 69,06 de soufre pour 100.

Dosage de l'azote. — L'azote a été dosé par la méthode des volumes; on brûlait la matière dans un tube de verre par l'oxyde de cuivre, et les produits de la combustion cheminaient à travers une longue colonne de cuivre réduit.

L'action des alcalis sur le sulfure d'azote est trop violente pour qu'il ait été possible d'employer le procédé de MM. Warentrapp et Will.

(1) Nous avons continué souvent l'ébullition de l'acide sur le sulfure d'azote pendant des journées entières. Ce n'est qu'à cette condition qu'il nous a été possible d'oxyder tout le soufre par ce procédé.

Nous rapporterons ici les résultats de trois dosage

I. $0^{gr},5$ de matière ont fourni 134 centimètres cubes d'
25 degrés centigrades; pression, $76^{c},8$. Ce qui a donné
volume après corrections, $120^{cc},22$, et en poids ramené à
ties, 30,48 d'azote pour 100.

II. $0^{gr},3$ de sulfure d'azote. Volume du gaz obtenu, 8
mètres cubes. Température, 21 degrés centigrades. Pression,
Le volume du gaz après corrections représente $73^{cc},66$,
centièmes 31,10 d'azote.

III. $0^{gr},3$ de sulfure d'azote. Volume du gaz obtenu, 8
mètres cubes. Température, 22 degrés centigrades. Pression,
Le gaz représente en volumes après corrections $72^{cc},40$, et
tièmes 30,57 d'azote.

La formule de M. Soubeiran exigerait 77,42 pou
de soufre et 22,58 pour 100 d'azote. On voit que les
bres que nous avons obtenus sont très-différents, pui
ont toujours oscillé autour de 70 pour 100 pour le
et de 30 pour l'azote.

La composition qui correspond à ces nombres se
sente par la formule

$$S^2Az,$$

comme l'indique le tableau suivant :

	Calculé.	Trouvé.			
Soufre..	69,56	69,47	68,86	69,95	
Azote...	30,44	30,48	31,10	30,57	
	100,00				

La composition du sulfure d'azote ne correspond
en aucune façon à celle de l'ammoniaque, et dans
où l'on tiendrait à faire des rapprochements entre ce
et d'autres composés chimiques, ce serait plutôt au
gène qu'il faudrait le comparer.

On aurait alors

S^2Az correspondant à C^2Az.

La manière dont le sulfure d'azote se comporte à l'égard plusieurs corps binaires se prêterait même assez à cette position, et dans le cas où il existerait réellement, me l'admet M. Bineau, un corps bleu de la formule

$$S^2\,Az\,H\ (1),$$

corps continuerait l'analogie en présentant dans ces ps sulfurés le correspondant de l'acide cyanhydrique

$$C^2\,Az\,H.$$

Quoi qu'il en soit, la formule que nous avons admise a ore été confirmée par l'étude de l'action de l'eau et des olutions alcalines, à la température de l'ébullition, sur sulfure d'azote.

Action de l'eau et des alcalis sur le sulfure d'azote.

Suivant M. Soubeiran, l'eau à la température de l'ébullition transformerait très-promptement le sulfure d'azote hyposulfite d'ammoniaque, et ce sel contiendrait une roportion d'ammoniaque et une proportion et demie d'acide hyposulfureux.

Suivant le même chimiste, les dissolutions alcalines activeraient la transformation du sulfure d'azote en ammoniaque et en acide hyposulfureux. Il nous sera facile de faire voir que ces diverses assertions sont complétement inadmissibles. En effet, la décomposition dont il s'agit se représente par la formule

$$S^3\,Az + 4(HO) = S^3O^3,\ Az\,H^4O;$$

(1) Cette formule

$$S^2\,Az\,H \quad \text{et non} \quad S\,Az\,H$$

a été donnée par M. Bineau à un corps assez difficile à préparer que M. Soubeiran avait indiqué le premier, et qu'il supposait formé de $S^7\,Az^2\,H^2$. La formule de M. Bineau est exactement celle que M. Aug. Laurent a attribuée au sulfure d'azote. Cette coïncidence n'aurait pas échappé à l'attention de ce dernier, si l'habitude de se servir d'une notation particulière ne l'avait pas fait tomber dans une confusion à laquelle les chimistes ne sont que trop exposés. Il a pensé que la formule de M. Bineau $S^2\,H^2\,Az^2$ était écrite en équivalents, tandis qu'elle représente des atomes, comme on peut s'en assurer par la lecture des autres parties de son Mémoire.

or, dans cette formule, le sulfure d'azote est représenté par S^3Az, et nous avons démontré l'inexactitude de cette composition. D'un autre côté, pour que cette réaction puisse être admise, dans la supposition où cette formule serait exacte, il faudrait qu'elle se produisît sans dégagement d'aucun gaz, et il est facile de constater que toujours un dégagement notable d'ammoniaque accompagne la destruction du sulfure d'azote dans l'eau bouillante.

Mais ce dégagement constant d'ammoniaque n'est pas le seul phénomène à observer; quand il a complétement cessé, la liqueur est transparente, et, refroidie avec soin, ne contient pas d'acide sulfurique et possède en outre les caractères suivants : l'acide chlorhydrique étendu y détermine un léger dépôt de soufre; elle absorbe l'iode, et quand l'opération a été faite avec soin, ne précipite pas par le chlorure de barium, même après cette absorption; elle précipite en noir par l'azotate mercureux; l'azotate d'argent la précipite d'abord en jaune, mais ce précipité noircit rapidement.

Si l'on fait bouillir pendant longtemps cette liqueur transparente, elle se trouble peu à peu, il se forme un dépôt de soufre, le liquide prend l'odeur de l'acide sulfureux, et la dissolution de chlorure de barium acidulée, qui ne la précipitait pas d'abord, y indique la présence d'une quantité notable d'acide sulfurique.

Tous ces caractères démontrent la présence simultanée dans ces liqueurs d'un hyposulfite et d'un ou de plusieurs sels et acides de la série thionique.

Nous avons dosé l'hyposulfite par notre méthode, au moyen de la liqueur d'iode.

La quantité d'iode absorbée représentait sensiblement le quart de la totalité du soufre (1); nous avons donc pensé

(1) On opérait sur $0^{gr},5$ de sulfure d'azote; cette quantité traitée par l'eau bouillante a donné une liqueur transparente, sans aucun dépôt; il re

que la matière se dédoublait en fournissant de l'acide hyposulfureux, de l'acide trithionique et de l'ammoniaque, et que cette décomposition pouvait se représenter par la formule suivante :

$$4\,(S^2Az) + 15\,(HO) = S^2O^2,\ H^4AzO + 2\,(S^3O^5,\ H^4AzO) + H^3Az.$$

En effet, cette formule explique tous les phénomènes observés : l'absorption de l'iode, le dégagement d'ammoniaque et les diverses propriétés que présente la liqueur.

Cependant, dans cette expérience, il est fort difficile d'éviter la décomposition partielle d'une certaine quantité de l'acide trithionique, et cette décomposition peut amener des perturbations dans les résultats de l'analyse, en donnant naissance à de l'acide sulfurique et à de l'acide sulfureux ou hyposulfureux; aussi avons-nous vu que la quantité d'iode absorbée par les liqueurs était toujours un peu plus forte que ne l'indiquait la théorie.

Décidés par cette circonstance à chercher les moyens de varier l'expérience, de manière à bien établir la nature des composés thioniques qui se forment dans la réaction, nous avons trouvé le moyen de vérification dont nous avions besoin, dans l'action de la potasse.

En effet, nous avons établi ailleurs que les acides tri, tétra et pentathioniques étaient altérés par les alcalis (1), et que les acides sulfureux et hyposulfureux étaient les seuls produits de cette altération.

L'acide pentathionique ne donne que de l'acide hyposulfureux.

L'acide tétrathionique et l'acide trithionique donnent à la fois les deux acides, mais dans des rapports différents.

L'acide tétrathionique fournit 3 équivalents d'acide hy-

---

s'est dégagé que de l'ammoniaque. La liqueur bien refroidie a absorbé dans une première expérience $0^{gr},21$ d'iode, et dans une seconde $0^{gr},20$.

La théorie aurait exigé $0^{gr},172$ d'iode.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXVIII, page 451.

posulfureux pour 2 d'acide sulfureux :

$$2(S^4O^5) + 5(KO) = 3(S^2O^2, KO) + 2(SO^2, KO).$$

L'acide trithionique, au contraire, ne donne qu'un seul équivalent d'acide hyposulfureux pour 4 d'acide sulfureux :

$$2(S^3O^5) + 5(KO) = S^2O^2, KO + 4(SO^2, KO).$$

Dès lors, si le sulfure d'azote est décomposé par l'eau, comme nous l'avons supposé plus haut, suivant la formule

$$4(S^2Az) + 15(HO) = S^2O^2, AzH^4O + 2(S^3O^5, H^4AzO) + H^3Az$$

les 2 équivalents de trithionate d'ammoniaque donneront par la potasse, 1 équivalent d'acide hyposulfureux qui s'ajoutera à l'équivalent du même acide provenant de l'action primitive de l'eau et 4 équivalents d'acide sulfureux.

Le problème se réduira alors à une analyse d'un mélange de sulfite et d'hyposulfite dans lequel chacun des deux sels contiendra une quantité égale de soufre; et, par conséquent, si l'on traite la liqueur par l'iode, on recueillera, après l'absorption de l'iode, un poids de sulfate de baryte qui représentera exactement la moitié du soufre contenu dans le sulfure d'azote employé.

L'expérience a pleinement confirmé l'exactitude de notre hypothèse.

On a fait bouillir 5 décigrammes de sulfure d'azote, pendant une journée entière, dans une dissolution faible de potasse pure; la dissolution alcaline étendue et bien refroidie a été neutralisée par l'acide chlorhydrique très-dilué, et on l'a traitée ensuite et sans retard par une dissolution titrée d'iode.

Le poids de l'iode absorbé a été de $1^{gr},70$.

La liqueur, traitée par la dissolution de chlorure de barium acidulé, a donné un précipité de sulfate de baryte pesant $1^{gr},26$.

Ce poids est exactement la moitié de celui qui aurait été

fourni par l'oxydation complète de tout le soufre contenu dans 5 décigrammes de sulfure d'azote. Du reste, en traitant les liqueurs filtrées et les eaux de lavage par une dissolution d'hypochlorite de potasse, on a obtenu un nouveau précipité de sulfate de baryte dont le poids était sensiblement semblable au premier.

En retranchant de la totalité de l'iode absorbée $1^{gr},37$ employés à l'oxydation du sulfite, il reste encore 33 centigrammes d'iode, et cette quantité est presque exactement celle qu'exigerait un poids d'hyposulfite qui contiendrait 173 milligrammes de soufre, c'est-à-dire la moitié du soufre contenu dans 5 décigrammes de sulfure d'azote.

Le dédoublement par la potasse se représente donc, en derniers résultats, par la formule suivante :

$$2(S^2Az) + 3(KO) + 6(HO) = S^2O^2, KO + 2(SO^2, KO) + 2(AzH^3).$$

Mais ces produits sont dus évidemment à deux réactions successives, à celle de l'eau sur le sulfure d'azote et à celle de la potasse sur l'acide trithionique provenant de la première réaction.

Action des chlorures de soufre sur le sulfure d'azote.

L'action que les chlorures de soufre exercent sur le sulfure d'azote mérite l'intérêt des chimistes, parce qu'elle permet d'expliquer les différents phénomènes qui se manifestent pendant la préparation du sulfure d'azote.

Le sulfure d'azote se combine directement avec les deux chlorures de soufre

$$ClS \quad \text{et} \quad ClS^2,$$

et peut former avec chacun d'eux plusieurs combinaisons distinctes. Mais il est impossible de se rendre compte de la réaction si l'on se contente de verser les chlorures de soufre sur le sulfure d'azote pulvérisé.

Lorsque le chlorure de soufre est en grand excès, on obtient une dissolution qui a la couleur foncée du brome, et au milieu de laquelle se déposent souvent des cristaux. Si

l'on a employé moins de chlorure de soufre, la matière ne cesse pas d'être pulvérulente; on obtient des colorations variables suivant la quantité de chlorure de soufre employé, et il est facile de reconnaître à la diversité des teintes qui se produisent que la réaction est complexe.

Le mélange direct des deux corps nous a donc paru peu propre à fournir à l'état de pureté les produits divers qui se forment dans cette réaction.

Mais il n'en est pas de même lorsqu'au lieu d'employer le sulfure d'azote sec et pulvérulent on fait agir les chlorures de soufre sur le sulfure d'azote préalablement dissous dans le sulfure de carbone.

Disons d'abord que les phénomènes sont différents suivant les quantités réagissantes et le chlorure de soufre employé.

Si l'on se sert du perchlorure de soufre, et qu'il soit employé en léger excès, la liqueur prend une teinte plus foncée, et l'on voit se déposer, au bout de quelque temps, un précipité grenu ou un grand nombre de petits cristaux jaune doré, combinaison des deux agents employés.

Si l'on ajoute au mélange précédent une plus grande quantité de la dissolution de sulfure d'azote, le premier composé disparaît et des flocons abondants rouge-cochenille le remplacent dans la liqueur.

Ces flocons représentent évidemment un second composé de chlorure de soufre et de sulfure d'azote.

Mais les deux combinaisons que nous venons d'indiquer ne sont pas les seules qu'on puisse obtenir. Il en est une troisième qui prend toujours naissance quand on fait dominer le sulfure d'azote. Sous l'influence d'un excès de sulfure d'azote, tous les flocons cochenille disparaissent à leur tour et se transforment en une poudre jaune qu'il est facile de recueillir et d'analyser.

Nous avons fait quelques expériences pour éclairer la nature de chacun de ces trois composés, et nous allons en rapporter tout ce qui nous a paru présenter quelque intérêt.

Comme il est assez difficile de les distinguer entre eux autrement que par des lettres, nous leur donnerons les noms de *chlorosulfates de sulfure* d'azote A, B et C, en suivant l'ordre dans lequel nous venons de les présenter.

Chlorosulfate de sulfure d'azote A. — Ce composé, le premier qui se dépose en cristaux sous l'influence d'un excès de perchlorure de soufre, ne peut se conserver hors du liquide dans lequel il s'est produit.

Si l'on cherche à le recueillir sur un filtre, il répand d'abondantes vapeurs qui attaquent le papier, et il se colore en rouge-noirâtre, coloration due évidemment à ce qu'il se transforme en un composé moins chargé de chlorure de soufre que nous décrirons dans un instant.

Une longue exposition à l'air le décolorerait complétement en amenant une plus grande perte de chlorure de soufre, et une décomposition plus complexe dans laquelle interviendrait l'humidité atmosphérique.

Quoique très-apparente, la décomposition par laquelle le produit est coloré exige un temps assez long pour être complète, et il nous a été possible d'isoler le produit pur et cristallisé par le procédé suivant :

Lorsque les cristaux jaunes se sont déposés abondamment dans la dissolution de sulfure de carbone, on les recueille sur un filtre, on chasse rapidement le sulfure de carbone qui mouille les cristaux par un courant d'air sec, et on les place, sans tenir compte de la coloration superficielle qu'il est impossible d'éviter, au fond d'un tube bouché par un bout; cela fait, on pratique à la lampe un étranglement dans le tube à peu de distance de la matière, et l'on ferme ensuite l'extrémité ouverte de manière à former un petit récipient.

On chauffe alors la matière avec précaution; elle se volatilise en partie, va se condenser, sous forme de longues aiguilles du plus beau jaune-orangé, dans le récipient que l'on peut isoler du résidu en effilant l'étranglement et le bouchant à la lampe.

Ce résidu consiste en une auréole rouge-cochenille, adhé-

rente au verre, formée par le chlorosulfate de sulfure d'azote B, et en un dépôt jaune pulvérulent qui, suivant nous, est le chlorosulfate C.

Pour analyser le produit A, on pèse le tube qui le contient, on note le poids, et, après en avoir coupé proprement la pointe avec une lime neuve, on lave le tube dans l'acide azotique étendu d'eau. Le reste de l'analyse se devine. Le chlore, devenu acide chlorhydrique, peut être dosé par une dissolution titrée d'argent. Pour doser le soufre, on traite une liqueur obtenue de la même manière par un excès de chlore qui fait passer le soufre à l'état d'acide sulfurique que l'on précipite par le chlorure de barium; quant à l'azote, on le dose par les volumes.

Les résultats de l'analyse nous ont conduits à la formule (1)

$$Cl\,S,\ AzS^2.$$

Chlorosulfate de sulfure d'azote B.— Cette combinaison ne peut pas être conservée plus que la précédente en présence de l'air; sa couleur rouge-cochenille est des plus belles, surtout lorsqu'attachée au verre on la voit en couches minces. Chauffée pendant longtemps à 100 degrés centigrades, elle se transforme en une poudre d'un beau jaune-orangé (chlorosulfate C) en perdant du chlorure de soufre.

Nous ne l'avons pas analysée, mais sa formule a été déduite de celles des deux autres corps A et C.

Chlorosulfate de sulfure d'azote C. — Ce corps peut se préparer, comme on a dû déjà le pressentir, par deux pro-

---

(1) *Analyse.*

I. 1 gramme de matière a donné 129 centimètres cubes d'azote à 10 degrés centigrades, et à la pression de 75,2.

II. $0^{gr},2$ de matière ont fourni 0,72 de sulfate de baryte.

III. $0^{gr},2$ de matière ont exigé 22 centimètres cubes de liqueur d'argent contenant 10 grammes par litre.

Ce qui fait en centièmes :		La formule calculée exige :	
Soufre.....	49,72	Soufre.....	49,26
Azote.....	15,39	Azote.....	14,37
Chlore.....	36,13	Chlore.....	36,37
			100,00

cédés différents : directement, en ajoutant un excès de sulfure d'azote en solution dans une quantité quelconque de perchlorure de soufre et recueillant le précipité; indirectement, en chauffant à 100 degrés centigrades pendant longtemps, et à l'abri de l'air, la combinaison rouge-cochenille.

Le produit est d'un beau jaune et ne s'altère pas sensiblement dans l'air sec; c'est lui qui, mêlé à du chlorhydrate d'ammoniaque, a été décrit sous le nom de *chlorosulfate sulfo-azotique*.

Il est très-peu soluble dans le sulfure de carbone, et laisse après évaporation un résidu jaune résineux.

L'eau lui fait éprouver une décomposition profonde, et, parmi de nombreux produits, donne naissance à un corps d'un très-beau bleu. Cette altération est assez lente, mais lorsqu'à l'eau pure on substitue une eau légèrement ammoniacale, elle devient presque instantanée. Traitée par l'alcool potassé, ce chlorosulfate donne une coloration rouge-améthyste des plus belles, mais qui ne persiste pas.

L'analyse nous a conduits à admettre que sa composition peut être représentée par la formule (1)

$$ClS,\ 3(AzS^2).$$

Comme la formation du composé rouge-cochenille est intermédiaire à celle de ces deux composés, nous croyons pouvoir lui assigner la formule

$$ClS,\ 2(AzS^2).$$

---

(1) *Analyse.*

I. 1 gramme de matière a donné 180 centimètres cubes d'azote à 8 degrés centigrades, et à la pression de 76 centimètres.

II. $0^{gr},3$ de matière ont fourni 1,25 de sulfate de baryte.

III. $0^{gr},2$ de matière ont exigé 11 centimètres cubes de la liqueur d'argent à 10 grammes par litre.

Ce qui fait en centièmes :		La formule calculée exige :	
Soufre.....	57,15	Soufre	59,12
Azote.....	21,92	Azote.....	22,16
Chlore.....	18,06	Chlore.....	18,72
			100,00

On aurait donc, dans les combinaisons du sulfure d'azote et du perchlorure de soufre, la série suivante :

A. ClS, AzS^2, chlorosulfate sulfo-azotique;
B. ClS, $2(AzS^2)$ chlorosulfate bisulfo-azotique;
C. ClS, $3(AzS^2)$ chlorosulfate trisulfo-azotique.

Le protochlorure paraît former trois combinaisons analogues. Nous avons observé seulement que les deux composés extrêmes de la série, également jaunes, sont d'un jaune moins pur que les composés correspondants de la série du perchlorure, et celui qui correspond au chlorosulfate rouge-cochenille est coloré en brun-chocolat.

Nous allons retrouver toutes ces combinaisons en étudiant l'action de l'ammoniaque sur les chlorures de soufre.

SECONDE PARTIE.

Action de l'ammoniaque sur les chlorures de soufre. — Théorie de la préparation du sulfure d'azote.

M. Soubeiran a eu recours, pour étudier la réaction de l'ammoniaque sur les chlorures de soufre, à un appareil assez compliqué. Comme nous nous étions proposé de répéter les expériences de ce chimiste, nous avons dû nous servir, au début de nos recherches, de l'appareil qu'il avait recommandé. Plus tard, nous en avons modifié les dispositions de la manière suivante, après avoir reconnu que nous pouvions le faire saus changer le caractère de la réaction.

L'appareil dont nous nous servions consistait dans un seau de cristal de 15 litres environ de capacité, au fond duquel l'ammoniaque arrivait, parfaitement desséchée, au moyen d'un large tube qui plongeait jusqu'au fond du vase.

Le chlorure de soufre était placé dans une capsule de verre, que deux larges supports, également en verre, maintenaient à peu près au centre de la capacité du seau. L'appareil était fermé par une plaque épaisse de cristal, échancrée pour le passage du tube de dégagement.

Lorsqu'on fait réagir le gaz ammoniac sec sur l'un ou l'autre des chlorures de soufre, l'ammoniaque est rapidement absorbée, et, malgré l'énorme capacité des vases, la température pourrait s'élever assez pour détruire les produits et les entraîner hors de l'appareil à mesure de leur formation, si l'on ne prenait la précaution de modérer convenablement le dégagement du gaz.

Plusieurs auteurs ont étudié les premiers effets de cette action, et tous paraissent s'accorder dans la description des phénomènes qu'elle présente. Suivant M. Martens, qui l'a examinée le premier, et M. Soubeiran, qui en a analysé le produit, toutes les fois que l'opérateur aura pu éviter une élévation considérable de température, elle fournira un composé homogène, résultant de la combinaison directe des deux corps, à proportions chimiques égales, et ils ont donné à ce corps, qui se représenterait par la formule

$$Cl\,S,\ Az\,H^3,$$

le nom de *perchlorure de soufre ammoniacal*.

M. Henry Rose a aussi étudié un composé d'ammoniaque avec le protochlorure de soufre, et les nombres qu'il a trouvés l'ont conduit à la formule

$$Cl\,S^2,\ Az\,H^3.$$

Malgré l'autorité des noms que nous venons de citer, nous pensons que ces combinaisons de soufre et d'ammoniaque n'existent pas, et que le début de l'opération est loin d'être aussi simple que l'ont supposé ces auteurs. Nous citerons à l'appui de cette opinion quelques faits faciles à vérifier.

Disons d'abord que les phénomènes apparents sont variables, suivant les conditions dans lesquelles on se place, et suivant la rapidité du dégagement de l'ammoniaque. Les différents aspects de l'expérience peuvent même expliquer, jusqu'à un certain point, comment on a pu se tromper sur la nature des résultats; aussi croyons-nous utile de les indiquer avec quelques détails.

Si dans un vase d'une grande capacité, rempli ammoniac, on plonge rapidement une petite quant chlorure de soufre, l'appareil se remplit immédiatem fumées, de colorations quelquefois diverses, qui se co sent en une poudre colorée d'une manière souvent uni dans toutes ses parties, et qui peut facilement être pris un corps unique d'une composition définie. Comm cette expérience l'ammoniaque est en grand excès, c évidemment les derniers produits possibles de la ré qui prennent naissance.

Si, au lieu de se placer dans les conditions de l rience précédente, on fait arriver le gaz ammoniac d vase dont la capsule contient une quantité assez co rable de chlorure de soufre, on verra les phénomèn férer suivant le volume de gaz qui arrivera dans un donné.

L'ammoniaque arrive-t-elle rapidement, la réactio vive, la chaleur produite volatilisera une grande par chlorure de soufre. Ce corps se trouvera toujours en excès comparativement à l'ammoniaque ; alors le ch de soufre prendra, dès les premiers moments, la tein cée du brome, et parfois coulera sur les parois de l reil en longues stries au milieu desquelles on distir une infinité de petits cristaux jaune-orangé. En temps, toute la capacité du seau se remplira d'abon fumées diversement colorées, et au point d'arrivée on distinguera souvent une auréole rouge-cochenill ou moins étendue, que le chlorure de soufre pourr disparaître.

Le gaz ammoniac, au contraire, n'arrive-t-il qu'av teur, et quel que soit du reste l'état de chloruration du rure de soufre employé, les premières fumées qui app sent sont des fumées blanchâtres ou faiblement tei Ces fumées forment bientôt, sur la surface des su disposés pour les recevoir, des dépôts abondants à

, et, si on les recueille, il est facile de reconnaître
sont formés par du chlorhydrate d'ammoniaque
e pur.

econnaît aussi, et dans le même temps, que la for-
du sel ammoniac coïncide avec celle d'un produit
ou brun si le chlorure est saturé de soufre, dont les
s sont moins facilement entraînables, qui retombe
que totalité à mesure qu'il se produit, et se redissout
excès de chlorure de soufre auquel il fait prendre une
plus foncée.

s pensons que tous ceux qui répéteront ces expé-
seront frappés, comme nous l'avons été, de la res-
nce d'aspect des cristaux jaune-orangé dont nous
de parler, avec le chlorosulfate de sulfure d'azote A
roduits rouge ou brun que nous avons signalés, avec
posés

$$ClS,\ 2(AzS^2)\ \text{et}\ ClS^2,\ 2(AzS^2).$$

i, avons-nous soumis ces matières à un examen plus
t, qui a confirmé entièrement notre premier aperçu.
au lieu de faire arriver le gaz ammoniac sur le chlo-
soufre isolé, on le fait passer sur celui-ci, préala-
t dissous dans le sulfure de carbone, on voit appa-
les phénomènes analogues; mais les diverses phases
action sont plus faciles à observer. Il se forme d'abord,
ieu des liqueurs, des flocons peu colorés de chlorhy-
'ammoniaque, et la teinte jaune-rougeâtre du liquide
e sensiblement; puis bientôt la matière jaune qui se
en même temps que le sel ammoniac, et dont la dis-
n partielle colore la liqueur, se dépose à son tour.
natière jaune est le composé

$$ClS,\ AzS^2;$$

ent ensuite un composé rouge qui remplace cette pre-
substance, et colore le dépôt.

e matière rouge n'est autre que le chlorosulfate
-azotique.

Cette formation de chlorhydrate d'ammoniaque diverses combinaisons du perchlorure de soufre et fure d'azote au début de la réaction, et dans les con que nous venons de mentionner, conditions dans les la température ne s'élève pas, indique une décomp profonde du chlorure de soufre, et exclut déjà tout de la formation d'un simple chlorure de soufre ammo

Ceci établi, continuons à examiner les différents sous lesquels se présente l'expérience.

L'action de l'ammoniaque ne s'arrête pas à la for de la matière rouge; cette couleur ne tarde pas à dispa et les matières en opération prennent rapidement d brun-chocolat; du soufre est alors devenu libre, car men d'une portion de la substance brune montre chlorure de soufre qui la mouille, et sur lequel l'a niaque n'a pas encore agi, est avec excès de soufre, même que c'est le perchlorure de soufre qui a été en à l'expérience.

Tous ces faits prouvent, selon nous, que le chlor soufre ammoniacal ne se forme pas au début de l rience, et que les premières phases de la réaction se sentent par les deux formules suivantes :

1°. $5(ClS) + 4(H^3Az) = ClS, AzS^2 + ClS^2 + 3(ClH^4A$

2°. $9(ClS) + 8(H^3Az) = ClS, 2(AzS^3) + 2(ClS^2) + 6(Cl$

Il faut admettre que le soufre, mis en liberté réaction, s'est combiné au fur et à mesure de sa for avec l'excès de perchlorure de soufre contenu dans l reil, et dès lors, aussitôt que tout le perchlorure ainsi modifié, le composé cochenille cesse de se pro et fait place au composé de protochlorure de soufre chocolat

$$ClS^2\,2(S^2Az).$$

Arrivé à ce point, l'opérateur doit redoubler de s lance pour modérer la vitesse du courant d'ammo dont l'absorption est alors très-rapide. Si l'on s'est s

e de soufre pur, c'est-à-dire sans intermédiaire, et égagement soit trop abondant, la température s'élève olence ; on voit se former dans la matière des zones uses, les unes bleues, les autres rouge-orangé. L'oxy- l'air extérieur intervient alors dans l'expérience (1), oduits peuvent être complétement détruits ; si l'am- ue, au contraire, arrive avec une lenteur conve- condition du reste assez difficile à réaliser, toute la brune est transformée en une poudre jaune-citron 'on a considérée à tort comme une matière unique ie, et désignée sous le nom de *chlorure de soufre oniacal,* parce qu'on lui supposait la composition résente la formule

$$Cl\,S,\ 2(H^3Az).$$

s ce que nous avons dit au sujet de la première com- n de perchlorure de soufre et d'ammoniaque, indi- r M. Martens, il n'est plus possible d'admettre l'exis- e celle-ci, puisqu'elle résulterait de la fixation d'un équivalent d'ammoniaque sur le premier produit, ce premier produit n'existe pas.

este, l'examen le plus superficiel de cette matière, coloration même est rarement égale dans toutes ses , suffit pour faire reconnaître sa nature complexe, sommes, sur ce point, parfaitement d'accord avec guste Laurent, qui la considère aussi comme un ge (2).

tons que nous sommes parvenus, au moyen des dis- s neutres, à en retirer jusqu'à cinq substances diffé-

---

est clair qu'on n'a pas cela à craindre lorsqu'on se sert de l'inter- du sulfure de carbone en quantité suffisante.

ns le but de démontrer que cette poudre n'est point homogène, ons eu recours à un moyen très-simple, qui consiste à doser le ontenu dans des portions du produit prises dans des parties diffé- e l'appareil, à l'aide d'une liqueur titrée d'azotate d'argent.

opérions sur $0^{gr},1$ de matière ; cette quantité était traitée par quel-

Action des dissolvants neutres sur le produit br
l'action du gaz ammoniac sur les chlorures de souf

Lorsqu'on traite ce produit par l'eau distillée, la grande partie de la masse se dissout en donnant une liq légèrement colorée en jaune, dont la coloration est é mère, et il se forme un dépôt jaune. Ce dépôt est le sul d'azote de M. Soubeiran. Il peut, dans certains cas, êtr mélange de trois substances différentes réunies en pro tions variables.

M. Soubeiran admet que, dans le traitement de c matière par l'eau, la formation du dépôt jaune est le résu d'une réaction dans laquelle l'eau intervient par ses ments. Nous pensons, au contraire, que l'eau se comp là comme agent de dissolution, et sépare tout simplem les composés solubles de ceux qui ne le sont pas.

Cette interprétation se trouve appuyée par tous les ré

---

ques centimètres cubes d'acide azotique étendu d'eau, dans un flacon bo à l'émeri de 125 grammes environ. Quand l'oxydation était terminée ajoutait la liqueur titrée au moyen d'une burette alcalimétrique.

$0^{gr},1$ de matière recueillie sur un plateau qui avait supporté la ca contenant le chlorure de soufre, a exigé $11^{cc},5$ de la liqueur titrée.

$0^{gr},1$ de la couche attachée au fond de la capsule, $13^{cc},1$.

$0^{gr},1$ de la couche qui couvrait le fond du seau en cristal, 11 centim cubes.

$0^{gr},1$ de la couche adhérente aux parties latérales du seau, 1 centin cube seulement.

$0^{gr},1$ des flocons cristallins superposés sur la couche précédente, 10 timètres cubes.

On voit par ces expériences que les diverses portions de la masse c naient des quantités très-inégales de chlore, et que la couche adhé aux parois des vases en était presque entièrement exempte. Cette couc matière, qui était du plus beau jaune doré, se détruisait dans l'eau b lante sans presque en troubler la transparence, et nous avons con qu'elle était formée par du sulfure d'azote presque pur.

La propriété d'adhérer au verre lorsqu'il est légèrement chauffé, que sède le sulfure d'azote, explique comment dans cette expérience il s' en quelque sorte du reste des produits.

du traitement de cette matière par l'alcool, l'esprit de , l'essence de térébenthine ; et l'action de l'éther, qui t parfaitement connue de M. Soubeiran, vient égale- nt donner raison à notre théorie.

Tous les liquides que nous venons de nommer pourraient e employés à l'analyse de la matière qui nous occupe, tous peuvent en séparer des produits différents ; mais us nous sommes arrêtés à l'emploi du sulfure de carbone, rce qu'il remplit le mieux toutes les conditions. Son pou- ir dissolvant, bien supérieur à celui de tous les liquides e nous pouvions employer, permet même de retirer de tte masse les produits essentiels, cristallisés, et en quan- é suffisante pour une étude étendue. En combinant l'ac- n dissolvante du sulfure de carbone avec celle de l'eau, nous a été facile d'isoler les unes des autres toutes les bstances mélangées.

Le sulfure de carbone ne dissout pas la totalité de la asse, mais il en sépare, d'une manière très-nette, deux roduits importants, et laisse, après son action, un résidu à peine coloré, mais encore abondant, sur lequel nous re- viendrons plus loin.

Les deux matières dissoutes par le sulfure de carbone sont :

1°. Du soufre cristallisé en octaèdres ;

2°. Du sulfure d'azote.

La solubilité de ces deux corps dans le sulfure de carbone est très-différente, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire ; beaucoup plus grande pour le premier que pour le second, cette différence nous a permis de séparer les deux matières l'une de l'autre avec précision.

Il suffit pour cela de laver la masse à plusieurs reprises et à froid avec de petites quantités de sulfure de carbone pour enlever tout le soufre. La portion assez faible de sulfure d'azote dissoute en même temps que le soufre se retrouve presque tout entière dans les premiers cristaux qu'aban-

donnent les liqueurs de lavage, et peut être ajoutée masse en traitement.

Cette masse, ainsi débarrassée de soufre, est alors tr par le sulfure de carbone bouillant, jusqu'à ce qu'elle colore plus ce dissolvant en jaune-orangé. Les liqueurs s'évaporant, abandonnent le sulfure d'azote sous form cristaux prismatiques du plus bel aspect.

Si l'opération avait été conduite de manière à éviter t élévation de température et toute influence de l'humid conditions que nous avons réalisées lorsque dans la réac nous nous sommes servis du sulfure de carbone comme termédiaire, la masse primitive débarrassée du soufre luble dans le sulfure de carbone et du sulfure d'azot contiendrait plus que du chlorhydrate d'ammoniaque, ces trois substances sont les seuls produits essentiels d réaction; mais lorsqu'on opère directement sur les comp purs, il est impossible d'éviter la formation de produit cidentels qui restent mêlés au sel ammoniac dans le ré sur lequel le sulfure de carbone est sans action.

Ainsi, dans le plus grand nombre des cas, ce résidu n pas entièrement insoluble dans l'eau. A la vérité, l'eau sépare une grande quantité de sels ammoniacaux; ma reste un dépôt plus ou moins abondant assez semblable à soufre, mais qui ne peut être confondu avec le soufre dinaire, puisqu'il est complétement insoluble dans le sulf de carbone. Une étude attentive de cette substance, d nous attribuons la formation à l'action de l'humidité su chlorure de soufre, nous a fait voir qu'elle devait être c sidérée comme du soufre dans un état moléculaire parti lier, et nous renvoyons pour ses propriétés à ce que n avons dit de cet isomère du soufre (*Annales de Chimi de Physique*, 3e série, t. XXXII, p. 385).

Il nous reste, pour terminer, à indiquer la nature des p duits que l'eau a enlevés au résidu insoluble dans le sulf de carbone. Indépendamment d'une quantité considéra

de chlorhydrate d'ammoniaque, la dissolution contient encore beaucoup de soufre à l'état de combinaison soluble; M. Soubeiran dit même que les liqueurs par lui examinées contenaient à cet état à peu près deux fois plus de soufre que la totalité du sulfure d'azote obtenu dans la même expérience.

Il attribue la formation de ce composé soluble de soufre à l'action destructive que l'eau exercerait sur le sulfure d'azote que, dans cette expérience, il supposait à l'état naissant. Quant à nous, après avoir constaté à diverses reprises que la quantité de soufre qui se retrouve dans les liqueurs est extrêmement variable et paraît être d'autant plus grande que l'opération a été conduite avec moins de précaution, nous avons cherché, par l'étude des réactions que présentent ces liqueurs, à reconnaître la nature du composé sulfuré contenu dans le résidu; car nous n'avons trouvé aucun moyen de séparer ce composé du chlorhydrate d'ammoniaque avec lequel il est intimement mêlé. L'alcool et l'éther ne remplissent pas le but, et l'eau le décompose rapidement; les produits de sa décomposition par l'eau pouvaient donc seuls nous fournir quelque indice sur sa constitution moléculaire.

Lorsqu'on traite par l'eau froide la masse dont le sulfure de carbone ne peut plus rien dissoudre, on obtient, après filtration, une liqueur transparente, légèrement jaunâtre; mais cette coloration ne persiste que pendant très-peu de temps, et bientôt elle devient absolument incolore. Dans cet état, elle possède les propriétés suivantes :

A. Si l'on ajoute de l'acide chlorhydrique à cette dissolution, on remarque, à un certain degré de concentration de la liqueur, une coloration *rouge-carmin* qui disparaît rapidement, et il se dégage ordinairement de l'acide sulfureux.

B. Lorsque la liqueur vient d'être préparée avec des produits récemment obtenus, il arrive souvent qu'elle n'est pas précipitée par le chlorure de barium acidulé, ce qui indique

qu'elle peut ne pas contenir de sulfate. Cependant, lorsqu'elle est préparée depuis quelque temps, elle précipite avec ce réactif et abandonne un léger dépôt.

C. Lorsqu'on la fait bouillir pendant longtemps avec ou sans addition d'acide chlorhydrique, il s'y forme bientôt un dépôt de soufre, il se dégage de l'acide sulfureux ; l'acide sulfurique se produit en abondance. En un mot, elle se comporte comme la dissolution d'un sel à acide de la série thionique.

D. Si, au contraire, on fait bouillir la dissolution récemment préparée, qu'on la laisse aussitôt refroidir, et qu'on ajoute ensuite de l'acide chlorhydrique, on obtient les mêmes phénomènes que si l'on opérait sur la dissolution d'un sulfite ordinaire, c'est-à-dire qu'il se dégage de l'acide sulfureux sans dépôt de soufre.

E. L'azotate d'argent la précipite très-abondamment en blanc, mais le précipité jaunit, puis noircit rapidement; ce qui n'arriverait pas si ce précipité n'était dû qu'à la présence du chlorhydrate ammoniacal.

F. Elle réduit les sels de cuivre.

G. Elle précipite l'azotate mercureux en blanc noirâtre.

Tous les faits que nous venons d'énumérer nous forcent à conclure que la matière qui fournit cette dissolution est un mélange de sel ammoniac et de l'amide qui a été étudié par M. H. Rose sous le nom de *bisulfite anhydre d'ammoniaque* (1).

En effet, ce corps, dont il est trop facile d'expliquer la production accidentelle pour qu'il soit nécessaire de nous y arrêter ici, est le seul que nous connaissions qui possède l'ensemble des propriétés indiquées, et particulièrement celle de donner une dissolution d'abord jaunâtre, incolore ensuite, capable de prendre, sous l'influence des acides étendus, une coloration *rouge-carmin* qui ne persiste que quelques instants.

En admettant avec nous l'existence de ce corps, tous les

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. LXII, p. 407.

phénomènes deviennent faciles à expliquer. Le sulfite anhydre d'ammoniaque qui existe pendant quelque temps à cet état dans les liqueurs se décompose peu à peu, en fixant les éléments de l'eau, en sulfate et en trithionate d'ammoniaque ordinaires, d'après la réaction suivante indiquée par M. H. Rose,

$$2(2SO^2, H^3Az) + 2(HO) = SO^3H^4AzO + S^3O^5, H^4AzO.$$

De là la production lente de l'acide sulfurique que nous avons constatée, et de l'acide trithionique dont l'ébullition des liqueurs révèle l'existence, en mettant à nu les produits de sa destruction.

Il résulte donc des faits réunis dans la seconde partie de ce Mémoire que, dans l'action de l'ammoniaque sur les chlorures de soufre, dès les premières bulles qui commencent la réaction, il se forme une certaine quantité de sulfure d'azote, de soufre et de sel ammoniac. Le sulfure d'azote et le soufre, prenant naissance en présence d'un excès de chlorure de soufre, forment successivement avec ce corps diverses combinaisons dont nous avons indiqué la nature, et qui toutes sont détruites par un excès d'ammoniaque; de sorte qu'à la fin de l'expérience, lorsqu'on a su éviter toutes les réactions secondaires, l'opération peut se représenter par la formule très-simple

$$3(ClS) + 4(H^3Az) = S^2Az + S + 3(Cl, H^4Az).$$

Dans tout ce qui précède, nous avons peu insisté sur l'état de chloruration des chlorures de soufre qui ont servi à nos expériences, parce que, quel que soit le chlorure de soufre employé, les produits définitifs sont toujours les mêmes; seulement, si l'on s'est servi de protochlorure de soufre, on obtient plus de soufre à la fin de l'opération. Il nous a donc paru inutile d'établir des divisions dans la description de deux traitements qui nous fournissaient des produits identiques.

D'un autre côté, en ce qui concerne les différents aspects

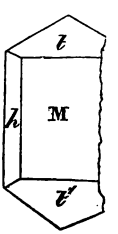
de la réaction, nous devons dire que les phénomènes assez semblables, quel que soit le chlorure de soufre ployé, en observant toutefois que le protochlorure d des colorations moins pures et toujours plus brunes q perchlorure; ce qui tient, comme on le comprendra f ment, à la nature des combinaisons qui se forment, toutes contiennent le chlorure saturé de soufre.

SUR LA FORME CRISTALLINE DU SULFURE D'AZOTE;

PAR M. J. NICKLÈS.

Le sulfure d'azote que M. Gélis m'a remis crist soit en petits prismes jaunes, allongés, terminés pa biseaux, soit en prismes plus raccourcis, mais ter comme les précédents. Ces prismes sont parfois apla accolés; dans ce cas ils ne se présentent jamais que p côté.

C'est parmi ces derniers seulement que j'ai trouvé ques exemplaires susceptibles d'être mesurés; la figu jointe les représente tels que je les ai examinés :



La forme primitive du sulfure d'azote est un p rhomboïdal droit, ainsi qu'il résulte des incidences qu pu observer :

$$M : M' = 89^\circ 10';$$
$$M : h = 136^\circ \tfrac{1}{2};$$
$$M : t = 139^\circ;$$
$$M : t' = 139^\circ;$$
$$t : t' = 96^\circ \tfrac{1}{1} \text{ (par M)}.$$

On remarquera que l'angle du prisme $\frac{M}{M}$ est presque identique avec celui du soufre obtenu par fusion.

Il y a donc ici un nouveau cas d'hémimorphisme à ajouter à ceux que j'ai signalés dans d'autres occasions (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXVII, page 611, et tome XXIX, page 336), et l'on voit que la forme cristalline du soufre se maintient en partie dans celle du sulfure d'azote, quoique le soufre obtenu par fusion appartienne à l'un des systèmes obliques.

PRODUCTION DE L'HYDRATE DE BARYTE PUR,

Par le carbonate de baryte sous l'influence de la vapeur d'eau surchauffée;

PAR M. V.-A. JACQUELAIN,
Préparateur à l'École centrale des Arts et Manufactures de Paris.

Présenté à l'Académie des Sciences dans la séance du 16 juin 1851.

Des expériences précises m'ont permis de démontrer (1) que les carbonates de potasse ou de soude perdent une quantité notable d'acide carbonique lorsque, chauffés au rouge sombre, ils subissent en même temps l'action d'un courant de vapeur d'eau ou d'acide carbonique surchauffés.

Ces faits bien établis, il m'importait d'obtenir la décarbonatation complète de ces deux sels en présence de la vapeur d'eau surchauffée, car, cette réaction se vérifiant, il devenait très-probable que j'arriverais à réaliser un phénomène du même ordre pour le carbonate de baryte que l'expérience m'avait signalé comme étant plus stable à une température élevée que le carbonate de chaux, et moins stable que ceux de potasse et de soude.

A cet effet, je fis un mélange de 65 grammes de carbonate de soude anhydre et pulvérulent avec 250 grammes de craie. Le tout fut additionné d'eau en quantité suffisante pour obtenir seulement des agglomérations sous forme de

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XXX, p. 106.

petits nodules peu cohérents. Ce mélange a été maintenu au rouge et traversé pendant six heures par de la vapeur d'eau engendrée sous la pression atmosphérique ordinaire et circulant avec lenteur pour diminuer le transport de l'alcali; au bout de ce temps, la décarbonatation a été complète.

L'essai alcalimétrique pour estimer la soude caustique restée dans le mélange, a constaté 95 pour 100 du carbonate de soude décomposé; or, comme il n'y avait pas trace d'acide carbonique dans le produit de la calcination, j'en conclus que les 5 pour 100 du carbonate de soude ont été absorbés par les parois du tube de porcelaine et convertis en silicate de soude.

Les principales conditions de succès de cette opération sont le maintien des matières sous forme spongieuse, état de division facilement réalisé par la chaux lorsqu'elle vient à s'imbiber du carbonate de soude en fusion.

Cet ingénieux artifice appartient de droit à M. Dumas, qui substitua un mélange plus convenable à celui que M. Persoz avait recommandé pour la préparation du gaz des marais. MM. Will et Warentrapp ont fait ensuite un des plus heureux emplois de la chaux sodée dans l'analyse des matières organiques azotées. Enfin on verra bientôt qu'avant M. Boussingault un expédient semblable m'a servi pour la préparation de la baryte.

Dès l'année 1850, et peu de temps après la présentation de mon travail sur les carbonates, j'entrepris les expériences dont je donne ici le résumé, en suivant l'ordre d'exécution tel qu'il a été consigné sur mon registre de laboratoire (1).

Tous ces mélanges ont été déposés sur une longue nacelle de platine placée dans un gros tube de porcelaine. A l'un des bouts s'ajustait une cornue contenant de l'eau en ébul-

(1) Ces expériences ont été en outre communiquées en avril 1850 à M. Cahours, qui fit connaître à sa leçon de la Sorbonne le meilleur de tous ces résultats.

...ition lente; l'extrémité opposée se terminait par un tube ... gaz et de sûreté. L'expérience a toujours duré quatre heures.

Première expérience.

123gr,3,	CO^2 Ba O	Dégagement de H et de CO^2; demi-fusion du mélange; décomposit. de 10 p. 100 du carbonate de baryte employé.
62gr,5,	CO^2 Ca O	
7gr,5,	C	

Deuxième expérience.

123gr,3,	CO^2 Ba O	Dégagement d'ac. carbonique; demi-fusion du mélange; décomposit. de 30 p. 100 du carbonate de baryte employé.
62gr,5,	CO^2 Ca O	

Ces deux expériences nous apprennent : 1° qu'une grande partie du carbonate de baryte ayant été enveloppée de baryte fondue échappe ainsi à l'action de la vapeur d'eau; 2° qu'en employant du charbon, l'action de cette vapeur d'eau s'en trouve amoindrie, c'est-à-dire qu'à mesure que le carbonate de baryte se décompose, le charbon sépare les éléments de l'eau en produisant de nouveau de l'acide carbonique et de l'hydrogène dont la présence nuit au succès de l'expérience, comme on le verra bientôt.

Troisième expérience.

123gr,3,	CO^2 Ba O	Masse légèrement poreuse; décomposition de 50 pour 100 de carbonate de baryte employé.
125gr,0,	CO^2 Ca O	
7gr,5,	C	

Quatrième expérience.

123gr,3,	CO^2 Ba O	Masse légèrement poreuse; décomposition de 90 pour 100 du carbonate de baryte employé.
125gr,0,	CO^2 Ca O	

Quatrième expérience (bis).

123gr,3,	CO^2 Ba O	Masse plus poreuse; décomposition de 90 pour 100 du carbonate employé.
190gr,0,	CO^2 Ca O	

Ces résultats étant obtenus, j'exécutai dans le mois d'août 1850, chez M. Robert de Massy, distillateur à Rocourt, près Saint-Quentin, les trois opérations suivantes.

L'appareil d'essai se composait de trois cylindres en fonte longs de $2^m,5$ sur un diamètre de 7 centimètres. Ils étaient placés tous les trois sur le même plan horizontal dans un fourneau en maçonnerie chauffé à la houille et distants entre eux de 10 centimètres environ. Dans chaque tube circulait de la vapeur d'eau fournie par un générateur. Les trois appareils avaient été rendus indépendants au moyen d'embranchements à robinets pour régler ou supprimer à volonté le jet de vapeur. Le cylindre du milieu contenant du carbonate de baryte et du charbon ne recevait pas de vapeur d'eau. L'extrémité opposée de chaque cylindre se terminait par un tube en cuivre conduisant les produits gazeux dans une espèce de cuve à eau, afin de les soumettre à l'analyse.

Cinquième expérience.

1200^{gr}, CO^2 Ba O 1200^{gr}, CO^2 Ca O 200^{gr}, C	Après six heures de feu, matière blanche poreuse, contenant très-peu de baryte caustique.

Sixième expérience.

1200^{gr}, CO^2 Ba O 200^{gr}, C	Pas de décomposition.

Septième expérience.

1200^{gr}, CO^2 Ba O 1200^{gr}, CO^2 Ca O	Matière blanche, poreuse ; décomposition de 40 pour 100 du carbonate employé.

On voit d'abord, d'après ces résultats, qu'il faut, pour décomposer le carbonate de baryte par le charbon, une plus haute température qu'avec le secours de la vapeur d'eau surchauffée.

En second lieu, les cinquième et septième expériences ont fourni des quantités de baryte moindres que celles provenant des troisième et quatrième opérations correspondantes faites à mon laboratoire.

J'attribuai cette énorme différence à la décomposition d'une certaine quantité de vapeur d'eau par les parois du cylindre en fonte.

effet, pour ralentir la circulation de la vapeur d'eau et la surchauffer, j'étais obligé de faire arriver le jet par une très-petite section de robinet. On comprend alors que l'action de la vapeur d'eau totale, agissant dans l'unité de temps, se trouvait amoindrie de toute la quantité d'eau qui s'était décomposée sur la fonte.

De retour à mon laboratoire, je repris la septième expérience avec toutes les particularités d'exécution primitive, c'est-à-dire en faisant circuler très-lentement la vapeur à travers 2400 grammes du mélange placé cette fois dans un tube en grès imperméable. Au bout de six heures de feu, j'avais décomposé 88 pour 100 du carbonate de baryte employé.

En terminant cet exposé, je dois ajouter que toutes ces expériences ont été répétées avec la chaux hydratée, et qu'elles ont conduit au même résultat dans un temps un peu plus court.

On pourra donc faire usage à volonté de chaux ou de carbonate de chaux; la préférence en pareil cas ne sera motivée que par la différence du prix de revient entre le carbonate de chaux pour une durée d'expérience un peu plus longue, et la chaux pour une opération plus brève.

Les expériences que M. Boussingault a fait connaître au sujet de la suroxydation de la baryte et de la désoxydation partielles du bioxyde de barium sont de même ordre que celles qui ont conduit Lavoisier à la composition de l'air au moyen du mercure tour à tour oxydé, puis désoxydé; mais elles présentent ce haut degré d'intérêt de pouvoir servir un jour à des réactions industrielles avec le concours d'une base de peu de valeur, comparée à celle du mercure.

Cependant, dans l'état actuel des choses, il fallait faire de l'hydrate de baryte par le procédé du carbonate mêlé de charbon, il fallait en outre lessiver la masse calcinée, concentrer les solutions à siccité, tandis que, par le simple ar-

tifice du mélange de la craie ou de la chaux avec le carb
de baryte naturel ou artificiel, on obtient finalemen
mélange poreux d'oxyde de calcium imprégné d'hydrat
baryte, qui se trouve dans les meilleures conditions p
subir la suroxydation sans changer de vase et sans qu'il
nécessaire d'extraire préliminairement l'hydrate de bary
Je m'estimerai donc très-heureux d'avoir complété la pe
de M. Boussingault, en lui fournissant le moyen de prép
en abondance et à meilleur marché la matière premi
dont il avait besoin.

Les opérations que je viens de citer sont d'une exécuti
trop simple pour ne pas devenir le point de départ de
fabrication de la baryte pure pour l'industrie; toutefois c
s'appliquant à réaliser les conditions de la dernière opéra
tion mentionnée plus haut.

Je dois même ajouter que les carbonates de lithine e
de strontiane se comportent comme ceux de potasse et d
baryte à l'égard de la vapeur d'eau surchauffée, ce qui peut
offrir quelque intérêt pour les applications des sels de stron-
tiane à la pyrotechnie.

Mais comme il me serait impossible, à moins de frais considérables, de continuer les recherches qu'il faudrait faire pour élever une expérience de laboratoire aux proportions d'une opération industrielle, je bornerai ma tâche (le principe étant connu) à l'indication sommaire des dispositions les plus générales pour atteindre ce résultat.

La préparation de la baryte s'exécuterait dans des cornues en terre réfractaire, de forme et de dimension analogues à celles des usines à gaz.

Le mélange du carbonate de baryte avec la craie ou de la chaux et son humectation se pratiqueraient dans des tonneaux mus autour d'un axe horizontal. On ferait le chargement et le déchargement des cornues à la manière ordinaire.

On pourrait utiliser la chaleur acquise par le mélange après défournement, ainsi que celle développée par l'action

...ique de l'eau sur ce mélange, de manière à échauffer ...ctement l'eau qui doit, par des lessivages méthodiques, ...raire toute la baryte et fournir les dissolutions convena... ...ment concentrées.

...a vapeur d'eau, loin de se produire avec violence, doit, ...contraire, s'exhaler librement du réservoir et traverser ...tement le mélange des carbonates portés au rouge nais... ...t.

...Il suffirait donc de placer dans le voisinage du foyer un ...uilleur dont la vapeur d'eau se distribuerait à toutes les ...rnues par de larges tubes aboutissant au couvercle de ...que cornue.

On utiliserait enfin l'acide carbonique produit en le di... ...geant sur le sucrate de baryte en suspension dans l'eau.

Ainsi le résidu de chaux hydratée, précédemment épuisé ...e baryte, serait mélangé au carbonate de baryte prove... ...nt de la décomposition du sucrate par l'acide carbonique, ...et recomposerait un nouveau mélange granuleux destiné au ...chargement des cornues, après avoir subi une légère dessic... ...cation favorisée par la chaleur perdue de la maçonnerie des fourneaux.

Cet aperçu doit suffire aux ingénieurs et aux fabricants qui voudraient tenter de nouvelles expériences sur l'intéressante fabrication du sucrate de baryte dont M. Dubrunfaut est devenu l'inventeur, en faisant une ingénieuse application des propriétés découvertes aux sucrates de baryte et de chaux par M. Peligot.

Dans les sciences d'application, tous les faits prennent tôt ou tard leur place et leur importance, et l'on peut dire avec justice que les sucrates de M. Peligot, en révélant à M. Dubrunfaut sa découverte, ont exercé leur influence au même titre que les célèbres expériences de Duhamel-Dumonceau, quand elles inspirèrent à M. le Dr Boucherie l'idée de faire pénétrer, dans les tissus vasculaires et fibreux des bois, des liquides à la fois colorants et conservateurs.

NOTE SUR L'ACTION CHIMIQUE QU'EXERCE L'ACIDE CARB SUR LE FER EN PRÉSENCE DE L'EAU ;

PAR M. GOLFIER-BESSEYRE.

Berzelius, dans son *Traité de Chimie* actuelleme publication, tome II, page 660, « admet que le fer s' » très-rapidement dans l'air humide, surtout en pr » d'une grande quantité d'acide carbonique ;

» Que le fer, en se recouvrant de rouille, ne s' » pas seulement aux dépens de l'eau dont *l'hydrog* » *combine à l'état naissant* avec le nitrogène de » pour produire de l'ammoniaque. »

Dans le *Cours de Chimie générale* de MM. Pelo Frémy, tome II, page 298, il est dit : « Le fer, exp » l'air humide, se recouvre d'une couche de fer hy » qui porte le nom de *rouille;* le métal s'oxyde avec » dité, parce qu'il se forme un élément de pile, d » rouille est le pôle négatif, et le fer le pôle positif : » *est alors décomposée,* et le fer s'oxyde complète » L'oxydation du fer est accélérée par la présence de l » carbonique. »

On n'a, je crois, imprimé nulle part rien de plus cite sur le mode d'action chimique qui s'exerce entre l carbonique et le fer en présence de l'eau ; le témoi d'autorités aussi respectables m'a donc dispensé de amples recherches bibliographiques à cet égard.

On serait naturellement porté à conclure de ces cita que les éléments de l'air et de l'eau ne se dissocien cause de l'électricité, ou bien parce que de l'ammon peut se produire dans ces circonstances, ou bien e que la présence de l'air est essentielle pour que cette a de l'acide carbonique s'exerce.

Ces explications ne me paraissaient ni suffisam claires, ni suffisamment démontrées ; toutefois, je r flottant dans le doute, lorsqu'une circonstance toute

m'a amené à entreprendre la recherche de faits plus ants.

. Welter, dont la bienveillance pour moi a tout le caère de l'amitié, a dû, d'après la prescription de son ecin, faire usage de l'eau de Bussang comme eau ferruuse ; et comme l'analyse ne lui avait fait découvrir dans eau aucune trace de fer, il me demanda, au commenent de l'année 1850, 1° si cette eau contenait réellement er ; 2° quel est le véritable mode d'action de l'acide onique sur le fer en présence de l'eau?

oici quel a été le résultat des expériences positives auxles je me suis livré à ce sujet :

e l'eau fortement chargée d'acide carbonique, mise en tact avec de la tournure de fer, donne immédiatement à une dissolution de protocarbonate de fer, parfaiteıt incolore et extrêmement limpide.

ette dissolution, exposée dans un vase ouvert au libre s de l'air, abandonne, en peu de temps, *tout son fer* tat de peroxyde hydraté.

e fait, bien constaté, suffit déjà pour expliquer comıt il a pu se faire que des chimistes ont accusé la préce du carbonate de fer dans certaines eaux minérales, lis que d'autres, analysant les mêmes eaux, n'en ont ıt trouvé de traces.

n effet, il est probable que ces eaux sont réellement ugineuses au sortir de leur source ; mais, comme elles ne t recueillies pour être mises en bouteilles qu'à une cerıe distance et après un certain laps de temps, ces circstances peuvent, d'après l'observation ci-dessus, être la se de la disparition complète du fer. Elles peuvent égaıent expliquer pourquoi je n'ai trouvé aucune trace de dans l'analyse à laquelle j'ai soumis plusieurs bouteilles au de Bussang, tandis que M. Barruel, qui a donné l'ayse de cette eau, y en a trouvé, peu il est vrai, mais il a accusé 16 millionièmes.

l'ai observé un fait analogue aux sources de Saint-Alyre

et de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme), là où l'on fait une petite spéculation sur le moulage des dépôts calcaires des eaux; on a, depuis longtemps, senti la nécessité de leur faire décrire un certain parcours dans des rigoles où elles laissent déposer de l'oxyde de fer hydraté qui, sans cette précaution, colorerait les produits.

Une conséquence sérieuse de ce premier fait, c'est que comme agent thérapeutique, le carbonate de fer ne peut être administré en dissolution qu'en présence d'un grand excès d'acide carbonique.

Quant à la question de savoir quel est le véritable mode d'action de l'acide carbonique sur le fer en présence de l'eau, le résultat de mes expériences est plus net encore.

Je vais d'abord décrire l'appareil dont je me suis servi : je me suis fait une source constante d'acide carbonique au moyen d'un grand bocal où se trouve ajustée, sous une fermeture hermétique, une grande allonge dont le petit orifice dépasse en dessous un diaphragme en cuivre, lequel est supporté par trois fils également en cuivre, et chargé de gros fragments de marbre blanc; la fermeture est munie d'un tube abducteur des gaz, portant un robinet au moyen duquel on peut régler le dégagement. L'acide carbonique se lave dans un vase intermédiaire, contenant un carbonate alcalin, et, de là, passe dans un flacon rempli de tournure de fer, communiquant avec le vase intermédiaire au moyen d'un tube qui plonge dans le flacon à tournure de fer, jusque près de son fond; ce vase peut être rempli d'eau purgée d'air, au moyen d'un tube en S : il est, en outre, muni d'un tube pour recueillir les gaz, et d'un siphon portant à sa partie inférieure un robinet au moyen duquel on peut recueillir commodément, et sans rien démonter, de l'eau ferrugineuse.

J'opère en versant de l'acide sulfurique faible dans l'allonge, et jusqu'à ce qu'il y ait évidemment un commencement de décomposition du marbre; alors je ferme le robinet, et quand il ne se produit plus d'acide carbonique et

e celui déjà produit a fait élever le liquide dans l'allonge tant que possible, j'ajoute encore de l'acide, jusqu'à e hauteur d'environ 50 centimètres ; et alors j'ouvre mo- rément le robinet, afin de chasser par l'acide carbonique u l'air contenu dans l'appareil ; puis, sans interrompre le gagement, je ferme le robinet du siphon, et je verse ns le tube en S de l'eau purgée d'air, jusqu'à ce que le con à tournure de fer en soit entièrement rempli. Alors ralentis le courant d'acide carbonique et le modère de anière à ce que les bulles battent la seconde ; et l'appareil nsi disposé fonctionne très-longtemps seul et avec une gularité parfaite.

Or voici ce qui se produit : l'eau devient beaucoup plus npide, et au bout d'un certain temps, on remarque que s spires de fer se revêtent de bulles de gaz, d'abord très- etites, mais qui grossissent peu à peu et finissent par s'en étacher ; ces bulles ne sont point de l'acide carbonique, si l'on recueille avec soin l'excès de celui-ci dans un acon rempli d'ammoniaque liquide, l'excès d'acide car- onique absorbé laisse alors pour résidu de l'hydrogène ur.

Je crois donc pouvoir affirmer que l'acide carbonique n présence du fer et de l'eau détermine la décomposition e cette dernière et donne lieu à la formation d'un proto- l de fer qui est retenu en dissolution dans l'eau, tant u'il y a excès d'acide carbonique et absence du contact de air, mais qu'il s'en sépare sous la forme d'un précipité lanc, si l'on chasse cet excès d'acide carbonique sans per- ettre le contact de l'air ; ou bien qu'il passe aussitôt à l'état 'un mélange de carbonate et d'oxyde de fer, si l'on a péré à vase ouvert.

Je pense qu'il y a là l'explication d'un fait géologique yant trait à la formation de certains dépôts de fer spa- hique. J'ai même tenté quelques expériences dans le but le déterminer la cristallisation du susdit dépôt ; l'appareil ue je viens de décrire se prête parfaitement à toute l'ex-

tension dont est susceptible ce petit travail, qui d'ailleurs peut se résumer par l'équation suivante :

$$Fe + CO^2 + HO = FeO\,CO^2 + H.$$

ÉTUDE DES LOIS DE L'INDUCTION A L'AIDE DE LA BALANCE ÉLECTRODYNAMIQUE;

PAR M. A. LALLEMAND,

Professeur de Physique au Lycée de Nîmes.

J'ai déjà fait connaître dans une Note (1), la disposition générale de l'instrument dont je me suis servi pour étudier les lois de l'induction, et en même temps j'ai décrit et expliqué les phénomènes généraux d'attraction et de répulsion que la balance électrodynamique met en évidence lorsqu'on opère avec des courants instantanés.

Les recherches expérimentales dont je vais discuter les résultats ont été faites avec un levier mobile formé par un fil de $0^{mm},8$ de diamètre et 5 mètres de longueur, enroulé en spirale plate aux deux extrémités d'une tige en bois, et terminé par deux pointes de platine suivant la direction du fil de suspension. La distance des centres des deux spirales était de 67 centimètres, et la longueur totale du levier de 78 centimètres. La suspension horizontale de ce dernier était produite par un fil de laiton écroui de 92 centimètres de longueur et $0^{mm},15$ de diamètre. La force de torsion développée dans ce fil par une déviation de 10 degrés, et déduite de la durée de son oscillation quand il était tendu par un poids cylindrique, pouvait être évaluée à 0,2 de milligramme. En regard des spirales mobiles sont placées de part et d'autre, deux spirales fixes formées du même fil et situées à la même distance du levier ; l'une d'elles porte une règle horizontale graduée, le long de laquelle glisse un repère ajusté à l'une des extrémités du levier. Cette disp

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXII, page 19.

sition permet d'amener les spirales mobiles à une distance déterminée des spirales fixes. Les fils de platine qui terminent le fil mobile, plongent de 1 millimètre dans deux cuvettes remplies de mercure. Ces deux cuvettes sont mises en rapport avec deux godets extérieurs à la cage de la balance, lesquels représentent les extrémités de la double spirale mobile. Ces deux extrémités de la spirale fixe viennent aussi aboutir à deux autres godets extérieurs.

La sensibilité de l'instrument serait plus grande, si l'on construisait le levier avec un fil d'un plus petit diamètre que celui dont j'ai fait usage, et qu'on le suspendît à un fil plus fin; mais alors les courants d'induction lancés dans le circuit de la balance sont affaiblis dans une plus forte proportion, et il devient nécessaire de produire l'induction avec des fils d'une longueur considérable. Toutefois, l'appareil que je viens de décrire possédait une sensibilité suffisante, et donnait des répulsions énergiques avec des courants du cinquième et du sixième ordre, développés dans des fils d'une médiocre longueur. Il est indispensable quand on étudie les courants d'un ordre supérieur au deuxième, et j'ajoute qu'il donne des mesures plus précises, si l'on veut évaluer l'intensité de ces courants. C'est ce qui va résulter des nombres que je rapporterai plus loin.

Pour apprécier le degré d'exactitude de la balance, j'ai fait passer d'abord au travers des spirales un courant continu, dont l'intensité variable était mesurée par une petite boussole des sinus. En tordant le fil de suspension, on ramenait le levier à une distance constante des spirales fixes. La répulsion observée, ne dépendant que de l'intensité du courant, devait être proportionnelle au carré de son intensité. Le fil du levier, étant enroulé en sens inverse à ses deux extrémités, constituait un système astatique sur lequel l'action terrestre n'exerçait pas d'influence appréciable. Voici les nombres obtenus en opérant de cette manière :

Je désigne par D la déviation de la boussole, I l'intensité

du courant calculée au moyen de cette déviation, T l'angle de torsion qui fait équilibre à la répulsion.

DISTANCE DES SPIRALES.	D	I	T	$\frac{I}{\sqrt{T}}$
	° ′		°	
23 millimètres...	32.00	529,92	748	19,38
	26.00	438,37	482	19,96
	21.15	362,44	332	19,88
	17.10	295,15	234	19,30
	14.20	247,56	156	19,83
	Moyenne.....			19,71
9 millimètres. ..	76.20	971,69	1134	28,82
	50.40	773,47	724	28,75
	41.20	660,44	528	28,75
	34.10	561,60	373	28,56
	22.10	377,30	174	28,60
	Moyenne.....			28,70

En faisant passer un courant constant par les spirales fixes, et un courant d'intensité variable par le levier, l'intensité de ce dernier devait être proportionnelle à la torsion.

DISTANCE DES SPIRALES.	D	I	T	$\frac{I}{T}$
	° ′		°	
19 millimètres.....	56.40	835,49	1235	0,676
	43.40	690,46	1032	0,669
	36.10	590,14	880	0,670
	30.50	512,54	766	0,669
	22.46	386,98	588	0,658
	Moyenne			0,668
26 millimètres	60.16	868,35	1092	0,795
	49.40	762,31	960	0,794
	29 36	493,91	618	0,799
	Moyenne.....			0,796

La boussole dont je me suis servi n'était pas très-sensible et comportait des erreurs de 5 à 10 minutes; je ne doute pas qu'on ne puisse obtenir des nombres plus exacts. La mesure des courants induits peut s'obtenir de deux manières :

1°. En soumettant à l'action d'un courant continu constant passant par les spirales fixes le courant direct ou le courant inverse lancés isolément dans le circuit mobile;

2°. En faisant passer les courants successifs directs et inverses dans les spirales fixes mobiles, de telle sorte qu'il y ait toujours répulsion.

Dans le premier cas, l'intensité du courant secondaire se mesure par l'angle de torsion qui ramène le levier à une position invariable, et, dans le second, par la racine carrée de cet angle.

Le premier procédé présente des causes d'erreur nombreuses; il suppose le levier parfaitement astatique, l'intensité du courant continu invariable pendant un long espace de temps; on ne peut éviter complétement l'action du courant secondaire sur le circuit traversé par le courant continu. Dans la Note citée plus haut, j'ai affirmé que les courants directs et inverses successifs développés dans un même fil sont d'égale intensité, et je me suis appuyé sur ce fait, qu'il n'y a point d'effet produit lorsque, les spirales fixes étant parcourues par un courant continu, le fil mobile recevait les courants directs et inverses simultanément. Mais j'ai observé depuis que l'action n'est pas nulle; il y a répulsion, et cela quel que soit le sens suivant lequel marchent les courants induits. La répulsion devient assez forte quand la résistance de la pile qui fournit le courant continu est faible et ne représente qu'une fraction du fil qui réunit les pôles. Elle diminue, au contraire, et devient presque nulle quand la résistance augmente, c'est-à-dire quand on augmente progressivement le nombre des éléments. La torsion qui mesure cette répulsion reste la même lorsqu'on change la direction des courants induits. Cet effet

ne peut évidemment provenir d'une inégalité entre les intensités des courants direct et inverse; il résulte de l'action des courants secondaires sur les spirales fixes, action qui engendre des courants tertiaires sur lesquels les courants secondaires qui les ont produits exercent une répulsion, comme je l'ai déjà démontré. Ces courants tertiaires sont affaiblis par la pile qui complète le circuit, et l'affaiblissement est d'autant plus grand, que la résistance de la pile est elle-même plus grande. On serait donc obligé d'effectuer une correction pour tenir compte de l'action répulsive que le circuit mobile exercerait sur les spirales fixes; enfin, la nécessité d'arrêter un des courants induits avec la seconde roue interruptrice est une nouvelle cause d'erreur.

Le second procédé ne présente pas les mêmes inconvénients. Il est vrai que le fil spiral de la balance est alors parcouru par des courants alternativement contraires; mais ces courants ayant la même intensité, ils donnent l'un et l'autre la même répulsion : il serait d'ailleurs facile de les isoler.

L'hélice à l'aide de laquelle j'ai étudié les courants secondaires était formée de deux fils de $0^{mm},8$ de diamètre et de 110 mètres de longueur, enroulés parallèlement l'un à l'autre sur une gorge de 30 centimètres de diamètre et 4 centimètres de largeur : ils formaient cent vingt-deux tours superposés et isolés par de la soie recouverte de gomme laque. La roue interruptrice intercalée dans le circuit primaire exige des précautions particulières, et sa bonne construction est la principale difficulté de ce genre d'expériences. Lorsque les dents métalliques sont formées d'un métal oxydable, quelques tours de roue suffisent pour les recouvrir d'une couche d'oxyde qui diminue notablement l'intensité du courant primaire. Il faut de toute nécessité employer des bandes de platine et les presser avec un ressort de même métal; malgré cette précaution, il est impossible d'éviter que les dents ne se recouvrent d'une crasse

formée par du métal divisé qui conduit mal l'électricité. La précision des résultats exigerait aussi que la vitesse de rotation fût constante; mais je n'ai pu disposer d'un appareil réalisant cette condition, d'ailleurs facile à remplir. La répulsion observée augmente avec la vitesse de rotation jusqu'à une certaine limite, passé laquelle l'effet est sensiblement constant. Avec l'interrupteur dont j'ai fait usage, deux cents interruptions par seconde suffisaient pour atteindre cette limite.

Avant de rechercher les lois de l'induction, il fallait s'assurer que la racine carrée de l'angle de torsion peut servir de mesure à l'intensité des courants secondaires, et que l'influence mutuelle des spirales voisines ne troublait pas d'une manière notable les résultats. Pour arriver à ce but, on fait passer successivement dans la balance un courant continu constant, et les courants secondaires engendrés par un courant aussi constant. En amenant dans les deux cas le levier aux mêmes positions, les répulsions correspondantes à une même distance des spirales devaient être en rapport constant. Voici quelques-uns des nombres obtenus :

DISTANCES DES SPIRALES.	VALEURS DE T pour le courant continu.	VALEURS DE T pour le courant secondaire.	RAPPORTS.
5 millimètres. . . .	695°	460°	1,51
9 millimètres . . .	554	360	1,53
14 millimètres. . . .	438	288	1,52
19 millimètres. . . .	360	232	1,55
24 millimètres. . . .	292	188	1,55

J'ai répété plusieurs fois ces expériences avec des courants d'intensité très-différents, et les rapports calculés ont toujours été invariables. Cela posé, on peut se proposer de déterminer le rapport de l'intensité du courant primaire à

l'intensité du courant secondaire; suivant M. Abria, ce rapport est sensiblement constant. Mais l'aimantation des aiguilles d'acier donne des résultats si différents suivant qu'on opère avec le courant direct ou avec l'inverse, qu'il est difficile d'admettre que le degré d'aimantation dépend uniquement de l'intensité maximum du courant secondaire. D'ailleurs, M. Abria ne dit pas comment il a fait varier l'intensité du courant. On peut, sans diminuer le nombre des éléments de la pile, intercaler dans le circuit primaire un corps bon ou médiocrement conducteur, auquel cas la tension spécifique de la source reste constante, tandis que la longueur seule du circuit inducteur varie; ou bien, si l'on augmente ou diminue le nombre des éléments, la longueur du circuit varie dans le même sens que la tension de la source. Ces circonstances influent beaucoup sur le résultat obtenu, comme nous le verrons bientôt.

M. Élie Wartmann a fait connaître aussi quelques résultats obtenus avec le galvanomètre (1); la source électrique restant constante et l'intensité de l'inducteur variant au moyen d'un fil conducteur intercalé, M. Wartmann a trouvé que la longueur du fil additionnel variant en progression géométrique, l'intensité du courant inverse décroît en progression arithmétique. Cette loi logarithmique ne peut être à priori l'expression vraie du phénomène, car elle conduirait à admettre que pour une certaine intensité de l'inducteur le courant secondaire serait nul.

On peut d'abord s'assurer aisément, à l'aide de la balance, que le rapport des intensités de l'inducteur et de l'induit est variable. Je cite quelques nombres obtenus avec l'hélice de 110 mètres et six couples Daniell de 1 décimètre carré de surface. Une colonne de sulfate de cuivre de longueur variable, intercalée dans le circuit primaire, servait à faire varier l'intensité de l'inducteur. Il est bon de re-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XIX, page 257.

marquer que pendant la rotation de l'interrupteur, la boussole qui faisait partie du circuit inducteur était momentanément soustraite à l'action du courant qui aurait altéré rapidement le degré d'aimantation de l'aiguille. Un fil de même longueur et de même diamètre que celui de la boussole le remplaçait pendant toute la durée de l'expérience. La répulsion une fois mesurée, le fil de la boussole était introduit dans le circuit, et l'on déterminait l'intensité de l'inducteur.

DISTANCE DES SPIRALES.	D	I	T	$\frac{1}{\sqrt{T}}$
10 millimètres..	44.52′	705,46	602°	28,75
	32.20	534,84	374	27,65
	25 20	427,88	260	26,54
	19.44	337,64	162	26,52

On voit donc que la tension de la pile restant constante, le rapport des intensités de l'inducteur et de l'induit diminue quand la longueur du circuit inducteur augmente.

En diminuant successivement le nombre des éléments de la pile, auquel cas l'intensité diminue en même temps que la longueur du circuit inducteur, on trouve que le rapport augmente; cette augmentation ne paraît pas dépendre sensiblement de la tension spécifique de la source qui décroît très-rapidement dans cette circonstance.

En faisant varier l'intensité de l'inducteur au moyen d'un fil de cuivre ou de laiton, on est conduit aux mêmes résultats que précédemment. Si, dans ce dernier cas, la longueur du fil additionnel augmente en progression géométrique, l'intensité du courant secondaire décroît en progression arithmétique quand on se contente d'un petit nombre d'expériences; mais, en multipliant les résultats, on s'aperçoit que la raison de la progression arithmétique diminue en même temps que l'intensité de l'inducteur. La

loi posée par M. Élie Wartmann n'est donc qu'une approximation.

Après des tentatives infructueuses pour arriver à une loi empirique qui fût l'expression assez exacte du rapport des deux intensités, j'ai trouvé qu'en calculant l'arc dont la tangente serait l'intensité de l'inducteur, la valeur de cet arc représentait très-exactement l'intensité du courant secondaire. L'accord est tellement parfait, surtout pour des expériences de cette nature faites dans des conditions assez défavorables, que je n'hésite pas à regarder comme l'expression vraie du phénomène le rapport ainsi déterminé; en représentant par I l'intensité de l'inducteur, par D l'intensité du courant secondaire et par K une constante, on aurait donc

$$I = K \text{ tang } D.$$

Je vais citer les résultats d'un grand nombre d'expériences faites sans aucune prévision, et la loi ressortira de l'examen des tableaux suivants; les spirales ont été maintenues dans tous les cas à une distance constante de 9 millimètres.

Voici d'abord trois séries de résultats obtenus avec des piles de différentes résistances, et en faisant varier l'intensité de l'inducteur au moyen d'une colonne de sulfate de cuivre.

TABLEAU N° I. — *Pile de* 10 *éléments.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
54° 0′	809,02	914°	30,23	38,97	1,28
41.20	660,44	632	25,14	33,44	1,33
32. 8	531,89	408	20,19	28,01	1,38
26.10	440,99	302	17,37	23,79	1,36
21.10	361,08	208	14,42	19,85	1,37
		Moyenne.....			1,34

LEAU N° II. — *Pile de* 4 *éléments ayant une surface double*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
32.20′	534,84	388°	19,69	28,14	1,43
24.52	420,51	256	16,00	22,80	1,42
19.20	328,87	154	12,40	18,20	1,46
33. 0	544,64	392	19,79	28,57	1,44
		Moyenne.....			1,44

ABLEAU N° III. — *Pile de* 8 *éléments, d'une résistance à peu près égale à la pile de* 10 *éléments déjà employée.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
48.15′	746,06	720°	26,83	36,72	1,36
45. 8	708,75	672	25,92	35,32	1,36
39.40	638,32	560	23,66	32,55	1,37
37.40	611,06	516	22,71	31,42	1,38
31.26	521,50	400	20,00	27,54	1,37
28.10	472,04	340	18,43	25,26	1,37
26. 4	439,42	290	17,03	23,72	1,39
21.10	361,08	216	14,69	19,85	1,35
17.12	295,71	142	11,91	16,47	1,38
14.30	250,38	102	10,09	14,05	1,39
		Moyenne.....			1,37

Dans le premier et le troisième tableau, la tension spécifique de la pile était sensiblement la même; le rapport de la valeur calculée à la valeur trouvée reste aussi le même. Mais dans le deuxième, la tension ayant diminué considérablement, le rapport est un peu plus grand. La colonne de sulfate de cuivre intercalée dans le circuit primaire était disposée de manière à pouvoir mesurer son allongement à 0,1 de millimètre près. On pouvait dès lors exprimer en longueur de la colonne de sulfate la résistance

totale du circuit inducteur et en déduire la tension sp
fique de la source. On trouve ainsi que le rapport
valeur calculée à la valeur trouvée varie en raison in
de la racine quatrième de la tension de la source. Je
pu faire des expériences assez nombreuses pour vér
cette loi; dans tous les cas, nous verrons plus loin q
est la cause probable de cette variation.

Je passe maintenant aux nombres recueillis en inte
lant dans le circuit primaire des fils métalliques de
gueurs différentes et disposés de telle sorte, que leurs
ne pouvaient agir par induction les uns sur les au
Cette condition est indispensable si l'on veut obtenir
valeurs concordantes.

TABLEAU N° IV. — *Pile de 4 éléments; on prend pour fil*
tionnel, du fil de cuivre de $0^{mm},35$ *de diamètre.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPOR
50.5′	775,31	792°	28,14	37,78	1,34
47.20	735,31	720	26,83	36,32	1,35
43.50	692,56	660	25,69	34,70	1,35
41.42	665,24	620	24,90	33,63	1,35
36. 0	587,78	508	22,53	30,44	1,35
29.36	493,94	376	19,39	26,28	1,35
23.36	400,35	260	16,12	21,81	1,35
		Moyenne.....			1,35

N° V. — *On allonge le circuit inducteur avec du fil de laiton de* $0^{mm},25$ *de diamètre.*

	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
10′	989,02	1280°	35,77	44,68	1,24
15	955,02	1218	35,32	43,68	1,23
14	870,93	1160	34,05	41,05	1,20
10	789,80	912	30,19	38,32	1,26
10	780,79	900	30,00	37,98	1,26
15	763,23	844	29,05	37,35	1,28
55	654,96	700	26,45	33,22	1,25
50	627,06	668	25,84	32,09	1,24
55	483,54	420	20,49	25,80	1,25
46	465,87	384	19,59	24,98	1,27
45	321,44	196	14,00	17,82	1,27
4	191,95	75	8,66	10,86	1,25
			Moyenne.....		1,25

aleur du rapport calculé dans les deux derniers ta-
change aussi avec la tension de la source et suivant
ndiquée précédemment.

peut donc conclure que la tension de la source restant
nte, et quelle que soit la nature du conducteur in-
dans le circuit inducteur pour modifier l'intensité
rant, il existe un rapport constant entre l'intensité
rant primaire et la tangente de l'intensité du courant
laire.

te loi dépend essentiellement du changement de lon-
du circuit inducteur, et s'il était possible de faire
l'intensité de ce courant sans changer la longueur
cuit, le rapport des intensités des deux courants in-
r et induit serait peut-être invariable.

te supposition devient une certitude quand on opère
s courants d'un ordre plus élevé. J'ai mis en commu-
on les extrémités du fil induit de l'hélice précédente
elles de l'un des fils d'une seconde hélice formée de

trois fils de 40 mètres superposés l'un à l'autre et c
tuant ainsi trois hélices concentriques. Le courant s
daire passait par les deux fils extrêmes simultanéme
successivement, et le fil moyen parcouru par les co
tertiaires était mis en rapport avec les spirales de
lance, de manière à faire agir les courants de troi
ordre sur eux-mêmes par répulsion. En calculant e
l'arc dont la tangente est représentée par l'intensité d
ducteur, on trouve un rapport constant entre sa val
celle de l'intensité du courant tertiaire mesurée par
cine carrée de l'angle de torsion. On doit en conclu
le rapport de l'intensité du courant de second ordre
du courant de troisième ordre qu'il induit est inva
Ici, en effet, l'intensité de l'inducteur change sans
longueur de son circuit varie.

TABLEAU N° VI. — *Courant tertiaire agissant par répuls
lui-même.*

D	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAP
46. 0	719,34	328	18,11	35,72	1
32. 4	530,91	212	14,56	27,96	1
19.30	333,81	94	9,69	18,46	1
		Moyenne.....			1
45.28	712,83	712	26,68	35,48	1
40.48	653,42	572	23,91	33,16	1
31.44	525,96	400	20,00	27,74	1
23. 5	392,07	264	16,24	21,41	1
18.15	313,16	172	13,11	17,39	1
14.30	250,38	132	11,44	14,05	1
		Moyenne.....			1

Il serait facile d'opérer de la même manière sur d
rants d'un ordre plus élevé. J'ai essayé, au moyen

ıe hélice, sur les courants de quatrième ordre, et j'ai les résultats suivants :

N° VII. — *Courant quaternaire agissant par répulsion sur lui-même.*

	I	T	$\sqrt{T}$	$\sqrt{T}$ calculée.	RAPPORT.
45′	796,00	218°	14,75	38,52	2,61
50	729,36	172	13,11	36,10	2,75
. 8	631,13	124	11,13	32,25	2,89
.15	503,77	108	10,39	26,74	2,57
		Moyenne.....			2,70

us admettrons donc qu'à tous les degrés de l'induction ste un rapport constant entre les intensités des courants :teur et induit, pourvu que les deux circuits restent :iables.

:s expériences que je viens de rapporter ne permettent le déterminer la valeur réelle du rapport des intensités inducteur et de l'induit. Entre autres conditions, il sc- indispensable d'opérer sur des fils rectifiés ne formant n seul circuit, ou du moins il faudrait replier les fils de ière à éviter l'action des plis les uns sur les autres.

:tte disposition serait aussi préférable pour la plupart ıroblèmes que l'on peut se proposer de résoudre avec la ıce électrodynamique, et l'interprétation des résultats t plus concluante. N'ayant pu adopter encore ce mode ɔérimentation, qui aurait exigé des fils beaucoup plus ; et des appareils plus sensibles, j'ai néanmoins essayé ques mesures ayant pour but de vérifier l'influence du bre des éléments actifs du circuit inducteur sur l'inten- le l'induit. M. Abria a déduit de ses recherches sur le e sujet, que l'intensité du courant secondaire était pro- onnelle au nombre des éléments réagissants. Pour ɔntrer cette loi, il faut, d'après ce que nous avons vu,

maintenir invariable la longueur du circuit inducteur opéré avec la triple hélice ; le fil moyen parcouru par l tricité induite était mis en communication avec la bal L'une des hélices extrêmes faisait partie du circuit in teur, ainsi qu'une colonne de sulfate de cuivre. Une f résultat obtenu, on faisait passer le courant primaire su sivement par l'hélice inférieure et par l'hélice supéri de manière à doubler le nombre des éléments réagissant même temps, on diminuait la longueur de la colonne d fate, de telle sorte que la longueur du circuit inducteu ramenée à sa valeur première.

TABLEAU N° VIII.

NOMBRE des éléments de la pile.	D	I	$\sqrt{T}$ un seul fil inducteur.	$\sqrt{T'}$ deux fils inducteurs.	$\frac{\sqrt{}}{\sqrt{}}$
6 éléments..	64°.50′	905,07	20,49	37,94	1,
	53.42	805,93	18,76	34,40	1,
	51.10	778,96	18,54	33,92	1,
	41.40	664,80	15,49	28,63	1,
	34.10	561,60	12,96	24,62	1,
	28. 8	471,53	10,86	20,19	1,
	20.45	354,29	8,94	16,97	1,
	13 52	239,66	6,32	11,48	1,
	Moyenne....				1,
10 éléments.	55. 0	819,15	28,28	47,18	1,
	35.40	583,07	21,16	36,28	1,
	27.28	461,23	17,20	28,98	1,
	21.40	369,21	14,07	24,08	1,
	15.56	274,52	10,66	18,65	1,
	Moyenne....				1,

Ces résultats montrent que l'effet produit n'est pas portionnel au nombre des éléments actifs. Pour une sion constante de la source, le rapport des deux inte reste constant ; mais il diminue quand la tension spéci

la source augmente, c'est-à-dire quand l'induction est is énergique. Il est donc probable que l'intensité de l'in- it augmente avec le nombre des éléments réagissants, vant une loi d'autant moins rapide que ce nombre est is grand ; de sorte que cette intensité tendrait vers une nite qu'elle ne pourrait dépasser, ce qui serait conforme la loi de l'induction.

En faisant passer le courant primaire par le fil moyen la triple hélice, on peut produire l'induction sur l'un s deux fils extrêmes, l'autre formant un circuit ouvert ou rmé ; ou bien, développer un courant secondaire dans ; deux fils à la fois, de manière à opérer sur un fil de ction double. J'inscris dans le tableau suivant les nombres tenus dans ces trois cas pour les mêmes intensités du cou- nt primaire.

TABLEAU N° IX.

I	$\sqrt{T}$ deuxième circuit ouvert.	$\sqrt{T'}$ deuxième circuit fermé.	$\sqrt{T''}$ l'induit passe par les deux fils à la fois.	$\frac{\sqrt{T''}}{\sqrt{T}}$
902,58	32,92	19,89	37,65	1,14
761,35	27,56	17,32	31,81	1,15
578,33	21,35	12,64	25,65	1,19
468,44	17,66	10,58	19,69	1,11
			Moyenne.....	1,15

Nous voyons donc que l'intensité du courant secondaire augmente avec la section du fil induit, et les sections étant doubles l'une de l'autre, le rapport des intensités a pour valeur moyenne 1,15. Mais il faut remarquer que la diminution d'intensité produite par le fil de la balance n'est pas la même dans les deux cas ; et si l'on admet avec M. Abria que les courants induits se comportent comme les courants continus, et que leur intensité varie en raison inverse de la longueur du circuit parcouru, quand la section des fils

composant le circuit reste la même, il faut multipli
rapport précédent par la fraction $\frac{h+2b}{h+b}$, en appel
et b les longueurs des fils de l'hélice et de la balanc
ces longueurs, déduites de l'affaiblissement que produi
intercalation dans le circuit d'un courant d'intensité
nue, sont entre elles comme les nombres 140 et 6
rapport corrigé devient donc égal à 1,50, c'est-à-dire
rieur à $\sqrt{2} = 1.41$. Dans cette supposition, l'intensi
courant secondaire serait proportionnelle à la racine c
de la section.

Des expériences, que je rapporterai plus loin, ne
mettent pas d'admettre que l'intensité de l'induit est i
sement proportionnelle à la longueur du circuit par
par l'électricité, ou du moins elles indiquent que la te
du courant induit est supérieure à celle qui résulte
puissance conductrice de la partie du circuit dans leq
a été engendré. Ainsi la valeur de h, déduite de l'affa
sement de l'induit, quand on intercalait dans son ci
un fil de cuivre de $0^{mm},35$ de diamètre, était repré
par 394, nombre presque triple de la longueur réelle.
de section double, calculé de la même manière, avait
valeur 226. D'après ces résultats, le rapport trouvé
être multiplié par 1,1, ce qui donne 1,26, nombre e
ment égal à $\sqrt[3]{2}$. En admettant que le fil de la balan
comporte comme le fil de cuivre de $0^{mm},35$ de diamètr
conclurait que l'intensité du courant secondaire est pr
tionnelle à la racine cubique de la section.

Pour arriver à des notions positives sur l'influence
section du fil induit, il serait nécessaire d'opérer sur d
d'une plus grande longueur, de manière à pouvoir né
la diminution d'intensité produite par le fil de la bal
D'ailleurs deux fils isolés, agissant à distance l'u
l'autre, doivent se comporter autrement qu'un fil uniq
section double.

port inverse de ces longueurs comme étant égal à celui des conductibilités des deux métaux pour l'électricité induite, on trouve qu'il a pour valeur 1,66, nombre presque égal à 1,62, qui représente le rapport des intensités des deux courants induits. La loi s'énoncerait alors ainsi :

Les intensités des courants induits, toutes choses égales d'ailleurs, sont proportionnelles aux conductibilités des fils pour l'électricité induite.

Cette conclusion est, du reste, contredite par des nombres consignés aux tableaux n°s XVII et XVIII, lesquels prouvent que le rapport des conductibilités du cuivre et du laiton pour l'électricité induite est sensiblement le même que celui de leurs conductibilités pour l'électricité d'une pile. Il faut donc se borner aux résultats de l'expérience, et regarder le rapport des longueurs calculées du fil de cuivre et du fil de laiton comme représentant celui des tensions de l'électricité induite dans chacun des fils, c'est-à-dire le rapport de leurs résistances effectives. Nous dirons donc :

Que les intensités des courants induits dans deux fils de même longueur et de même diamètre, sont inversement proportionnelles aux tensions de l'électricité induite dans chacun des fils, les conditions de l'induction restant les mêmes.

En prenant le fil de laiton comme inducteur, et en soumettant le fil de cuivre voisin à l'induction, l'intensité de l'induit est un peu moindre que si l'inducteur était aussi un fil de cuivre. J'inscris en regard les nombres obtenus, en prenant successivement le cuivre et le laiton comme inducteurs.

TABLEAU N° XI.

I	$\sqrt{T}$ inducteur en laiton.	$\sqrt{T'}$ inducteur en cuivre.	$\frac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T}}$
663,49	24,49	26,14	1,06
606,45	22,97	24,01	1,04
477,67	18,11	19,04	1,05
381,34	14,28	15,29	1,07
	Moyenne.....		1,05

La différence observée entre les valeurs correspondantes à une même intensité de l'inducteur, vient sans doute de ce que le rapport de la partie du circuit inducteur, qui agit directement sur le fil induit, à la partie complémentaire, n'est pas le même dans les deux cas. Il est plus grand pour le laiton que pour le cuivre, et, d'après la loi de l'induction, démontrée plus haut, la valeur absolue de l'intensité du courant secondaire augmente quand ce rapport diminue. Si l'on opérait avec des piles d'une grande résistance, auquel cas la variation de ce rapport serait négligeable, on arriverait probablement à des valeurs identiques.

Lois de la variation d'intensité du courant secondaire, avec la longueur, le diamètre et la nature des conducteurs intercalés dans le circuit induit.

L'étude de ces lois, au moyen de la balance, conduit à des conséquences inattendues en opposition avec les résultats obtenus par quelques physiciens, et les expériences que je vais citer, bien que très-incomplètes, sont de nature à faire apprécier, sous un jour nouveau, le mouvement électrique propagé par induction.

L'induction était développée dans l'hélice à deux fils de 110 mètres de long, par un courant d'intensité constante. Le courant secondaire, lancé dans la balance, agissait par répulsion sur lui-même. L'intensité de ce courant une fois

Influence de la conductibilité du fil induit.

M. Abria a déduit de ses expériences comparatives sur le fer et le cuivre, que l'intensité du courant secondaire variait en raison inverse de la conductibilité du fil induit. La balance électrodynamique conduit à des conséquences bien différentes. Le fil extérieur de la triple hélice ayant été remplacé par un fil de laiton de même diamètre et de même longueur, on a fait passer le courant primaire par le fil moyen. Les fils de cuivre et de laiton formant les hélices extrêmes étant successivement mis en rapport avec la balance, on obtenait, pour chacun de ces deux fils, les intensités du courant secondaire correspondantes à une même intensité de l'inducteur.

TABLEAU N° X.

I	$\sqrt{T}$ l'induit par le fil conducteur.	$\sqrt{T'}$ l'induit par le fil de laiton.	$\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T'}}$
879,51	34,35	21,72	1,58
820,15	31,93	20,29	1,57
692,98	27,05	17,55	1,54
561,12	22,53	14,69	1,53
520,02	20,49	12,99	1,57
386,44	15,49	10,00	1,55
	Moyenne.....		1,55
	Valeur corrigée.....		1,62

La constance du rapport des deux intensités indique d'abord que les lois de l'induction sont les mêmes pour le cuivre et le laiton ; mais sa valeur est loin d'être égale au rapport des conductibilités. En effet, les deux fils ayant été intercalés dans le circuit d'un courant dont l'intensité mesurée à la boussole des sinus était 800,38, le fil de cuivre a ramené cette intensité à 484,80, et le fil de laiton à 361,62,

d'où l'on déduit, pour le rapport de la conductibili cuivre à celle du laiton, 3,22. Il est vrai que les cou induits dans le cuivre et le laiton ne sont pas également blis par le fil de la balance. En calculant la longueur d deux fils, d'après la diminution d'intensité qu'éprou courant secondaire, lorsqu'on interpose dans son circui fil de cuivre de longueur variable et de $0^{mm},35$ de diamè on trouve que ces longueurs sont entre elles comme nombres 394 et 657, le fil de la balance ayant pour l gueur 65. Il faut donc, pour corriger le rapport trouvé i le multiplier par 1,05, ce qui ramène sa valeur à 1,6 nombre encore moitié moindre que le rapport des cond tibilités.

On peut objecter à ces résultats l'action mutuelle des p du circuit. Pour éviter cette cause d'erreur, j'ai lié ensemb les trois fils, et les ai disposés de telle sorte, que leurs él ments ne pouvaient agir les uns sur les autres. L'intensit de l'induit est alors considérablement diminuée, et j'ai ét obligé de suspendre le levier à un fil d'un plus petit diamètre. Le rapport des intensités des deux courants secondaires pour des valeurs diverses de l'inducteur, a varié entre les limites 1,37 et 1,51; la moyenne était 1,43, nombre un peu plus faible que le rapport précédemment obtenu. L'action mutuelle des plis du circuit n'exerce donc pas une influence notable sur la valeur du rapport, et nous pouvons conclure que l'intensité du courant secondaire n'est pas proportionnelle à la conductibilité du fil induit. Il n'en serait pas de même si l'on admettait que les conductibilités du cuivre et du laiton pour l'électricité induite diffèrent de leurs conductibilités pour l'électricité constante d'une source. Nous avons vu plus haut que les longueurs des fils de cuivre et de laiton, estimées d'après l'affaiblissement qu'éprouve le courant induit lorsqu'on interpose dans son circuit un fil additionnel de longueur variable, étaient représentées par les nombres 394 et 657. En regardant le rap-

induit par le fil de la balance serait d'autant plus
l que la tension spécifique de la pile serait elle-même
petite.

uelle est maintenant l'influence de la nature du con-
teur intercalé ou de son diamètre sur la longueur cal-
e du fil induit? Je vais inscrire les nombres trouvés en
rcalant dans le circuit de l'hélice un fil de laiton
oui de $0^{mm},38$ de diamètre, et des colonnes de sulfate et
zotate de cuivre de 42 millimètres de diamètre. La lon-
eur des colonnes liquides était déterminée par deux
ques de cuivre dont la longueur pouvait être évaluée à
dixième de millimètre.

A côté de la valeur calculée du circuit induit, j'inscris
même temps, pour rendre la comparaison plus aisée,
valeur réduite en fil de laiton de $0^{mm},25$ de diamètre.
es expériences répétées et concordantes m'avaient donné
s éléments de cette réduction; ainsi :

1 mètre du fil de laiton de $0^{mm},38$ de diamètre équivaut à 449 millimètres du fil de laiton de $0^{mm},25$.

1 centimètre de colonne de sulfate de cuivre équivaut à 972 millimètres du même fil.

1 centimètre de colonne d'azotate de cuivre équivaut à 394 millimètres du même fil.

TABLEAU N° XIII. — *On intercale dans le circuit induit un fil de laiton de* $0^{mm},38$ *de diamètre.*

NOMBRE des éléments de la pile.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR RÉDUITE.
			m	m
6 éléments...	x	37,94	$x = 22,2$	9,96
	$x + 2^m$	34,81	22,9	10,28
	$x + 4$	32,31	22,9	10,28
	$x + 6$	30,06	22,2	9,96
	$x + 8$	27,92	23,9	10,73
	$x + 12$	25,29		

[Suite.] TABLEAU N° XIII. — *On intercale dans le circuit induit un fil de laiton de* $0^{mm},38$ *de diamètre.*

NOMBRE des éléments de la pile.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR RÉDUITE.
3 éléments...	x	23,49	m	m
	$x + 2^m$	21,63	$x = 23,2$	10,41
	$x + 4$	20,00	22,9	10,28
	$x + 6$	18,65	23,1	10,37
	$x + 8$	17,32	22,4	10,05
	$x + 12$	15,49	23,2	10,41

La valeur de x reste sensiblement constante; il est vrai que la longueur du fil additionnel n'a pas varié dans des limites très-étendues. D'un autre côté, l'influence de la tension spécifique de la source n'est pas appréciable. Quant à la valeur absolue de la longueur calculée du fil induit, elle est encore bien supérieure à la longueur réelle, mais un peu plus faible que dans le tableau précédent.

TABLEAU N° XIV. — *On intercale dans le circuit induit une colonne de sulfate de cuivre de* 42 *millimètres de diamètre.*

NOMBRE des éléments de la pile.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR RÉDUITE.
6 éléments...	x mm	37,68	mm	m
	$x + 12$	33,76	$x = 103$	10,01
	$x + 22$	30,98	101	9,81
	$x + 34$	28,28	102	9,91
	$x + 50$	25,13	100	9,72
	$x + 64$	23,66	108	10,49
	$x + 84$	21,26	108	10,49
	$x + 114$	19,49	121	11,76
	$x + 154$	17,00	126	12,24

minée, on intercalait dans le circuit induit des fils
lliques ou des colonnes liquides de longueur varia-
et, pour chaque longueur additionnelle, on mesu-
l'intensité de l'induit. En comparant chacune des va-
s obtenues à la valeur première, et en supposant que
ensité de l'induit varie en raison inverse de la longueur
ircuit parcouru, on calculait ainsi différentes valeurs
ircuit primitif. Voici quelques nombres obtenus en in-
lant dans le circuit induit un fil de laiton bien recuit
^{mm},25 de diamètre; dans tous les cas, le fil additionnel
ormait qu'un seul circuit, et ses éléments n'avaient
ne action les uns sur les autres.

ans la deuxième partie du tableau, la tension spécifique
a source n'a pas changé, mais le circuit inducteur a
nenté de longueur, de manière à rendre l'intensité du
ant primaire environ moitié moindre. Dans la troi-
ie partie, le nombre des éléments de la pile a été réduit
ux. Je représente par x la longueur calculée du fil in-
, y compris le fil de la balance.

EAU N° XII. — *On intercale dans le circuit induit un fil de laiton de* $0^{mm},25$ *de diamètre.*

NOMBRE éléments de la pile.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR CALCULÉE du fil induit.
éléments....	x	32,86	
	$x + 2^m$	28,28	$x = 12,3\frac{1}{4}$
	$x + 4$	$24\frac{1}{4},82$	$12,3\frac{1}{4}$
	$x + 8$	20,38	13,06
	$x + 16$	15,62	14,49
éléments...	x	20,58	
	$x + 2$	17,66	$x = 12,09$
	$x + 4$	15,48	$12,1\frac{4}{3}$
	$x + 8$	12,64	$12,7\frac{3}{3}$
éléments....	x	17,32	
	$x + 2$	14,28	$x = 9,39$
	$x + 4$	12,24	$9,6\frac{3}{3}$

La valeur sensiblement constante de x pour des l[illegible] gueurs de fil intercalé ne dépassant pas 8 mètres, indi[illegible] d'abord que l'intensité de l'induit est inversement prop[illegible] tionnelle à la longueur du circuit parcouru par l'élect[illegible] cité; mais cette valeur calculée est bien supérieure à la v[illegible] leur réelle. Le fil de l'hélice induite et le fil de la balan[illegible] ne représentent, en effet, que $4^{m},92$ du fil de laiton, c'e[illegible] à-dire une longueur environ deux fois et demie pl[illegible] faible.

Les conséquences qu'on peut tirer de ces faits peuven[illegible] s'interpréter de deux manières différentes : on peut dir[illegible] que la tension de l'électricité induite est supérieure à cell[illegible] qui résulte de la puissance conductrice de la partie du cir[illegible] cuit où elle a été développée; ou bien que la conductibilit[illegible] du laiton pour l'électricité d'induction est supérieure à s[illegible] conductibilité pour le flux électrique continu d'une source. Dans cette seconde manière de voir, on expliquerait pourquoi la valeur de x croît graduellement avec la longueur du fil intercalé, en disant que l'électricité induite ayant déjà parcouru une certaine longueur d'un conducteur non soumis à l'induction éprouve une moins grande résistance à se propager dans un conducteur de même nature; en d'autres termes, que la conductibilité de la partie du circuit non soumise à l'induction pour l'électricité induite augmente avec sa longueur, de sorte que l'électricité induite se comporterait avec les conducteurs de la même manière que la chaleur rayonnante avec les substances diathermanes.

L'examen du tableau précédent montre aussi que la valeur de x ne change pas avec l'intensité de l'inducteur pourvu que la tension de la source reste constante, tandis qu'elle diminue notablement avec la tension spécifique de la pile. Ce dernier résultat permettrait de se rendre compte de la variation du rapport de l'intensité calculée du courant secondaire à sa valeur trouvée lorsque la tension de la source change. Il est clair, en effet, que l'affaiblissement

tercalant dans le circuit induit des fils de cuivre et on de $0^{mm},35$ et $0^{mm},38$ de diamètre, j'ai obtenu les ıts suivants; le nombre des éléments de la pile est nvariable :

ɹu N° XVII. — *Le courant secondaire est développé dans le fil de cuivre.*

INTERCALÉ.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR réduite.
ɜ cuivre de ,35 de dia- e.	x m $x + 6,14$ $x + 14,22$	40,24 33,94 29,46	m $x = 33,1$ 38,8	m 4,59 5,38
ɜ laiton de ,38 de dia- e.	x $x + 2,00$ $x + 4,00$ $x + 8,00$	40,00 34,40 30,59 24,24	 $x = 12,2$ 13,0 12,3	 5,47 5,83 5,42

ɹu N° XVIII.— *Le courant secondaire est développé dans le fil de laiton.*

L INTERCALÉ.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR réduite.
l de cuivre m,35 de diam.	x m $x + 6,14$ $x + 14,22$	26,83 24,00 20,88	m $x = 52,0$ 49,9	m 7,22 6,93
l de laiton m,38 de diam.	x $x + 2,00$ $x + 4,00$ $x + 8,00$	26,22 23,40 20,97 18,00	 $x = 16,5$ 15,9 17,5	 7,40 7,13 7,85
Idem.	x $x + 2,00$ $x + 4,00$ $x + 6,00$ $x + 8,00$ $x + 12,00$	26,83 24,00 21,56 20,39 18,97 17,81	 $x = 16,9$ 16,3 18,9 19,3 21,8	 7,58 7,31 8,48 8,66 9,78

L'examen des nombres obtenus, malgré quelques incertitudes évidentes, conduit à cette conséquence, que la longueur du circuit induit calculé est représentée par des valeurs équivalentes du fil de cuivre et du fil de laiton servant à affaiblir le courant secondaire; d'où il suit que le rapport des conductibilités du cuivre et du laiton pour l'électricité induite ne diffère pas notablement du rapport de leurs conductibilités pour l'électricité d'une source. On peut remarquer encore ce fait signalé plus haut, que les longueurs calculées des deux fils induits, ou, en d'autres termes, leurs résistances effectives, ne sont pas proportionnelles à leur conductibilité. Enfin, si l'on compare la longueur calculée du fil de l'hélice de 110 mètres quand on affaiblit le courant secondaire avec du fil de laiton de $0^{mm},38$ de diamètre, avec la longueur calculée du fil de cuivre de l'hélice de 40 mètres quand on affaiblit le courant de la même manière, on remarque que ces longueurs sont sensiblement proportionnelles à leurs longueurs vraies, en comprenant toutefois dans ces dernières le fil de la balance.

Ces expériences sont trop peu nombreuses, leurs résultats présentent trop d'incertitude, pour permettre d'en tirer les conséquences auxquelles ils semblent conduire, et d'admettre, par exemple, que la conductibilité d'un fil pour l'électricité d'une pile diffère de sa conductibilité pour l'électricité induite, que celle-ci, comme la chaleur rayonnante, se propage d'autant plus facilement au travers d'un conducteur, qu'elle en a déjà parcouru une longueur plus grande. Pour prononcer avec certitude, il est indispensable d'employer des appareils plus sensibles, d'opérer isolément sur le courant direct et sur le courant inverse avec des fils ne formant qu'un seul circuit; ces conditions satisfaites, on peut espérer des résultats intéressants pour la théorie de l'électricité.

LAU N° XV. — *On intercale dans le circuit induit une colonne d'azotate de cuivre de 42 millimètres de diamètre.*

NOMBRE éléments de la pile.	LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR calculée du fil induit.	VALEUR RÉDUITE.
éments..	x mm	37,68	mm	m
	$x + 14$	34,98	$x = 181$	7,30
	$x + 34$	32,31	204	8,03
	$x + 64$	29,32	224	8,82
	$x + 104$	26,60	249	9,81
	$x + 144$	23,91	250	9,85
	$x + 194$	22,36	283	11,15
éments...	x	37,94		
	$x + 33,5$	32,86	$x = 213$	8,39
	$x + 73,5$	29,46	253	9,96
	$x + 113,5$	26,83	273	10,01
	$x + 153,5$	24,57	283	11,07
	$x + 203,5$	22,71	302	11,89
ments...	x	18,00		
	$x + 33$	15,49	$x = 203$	7,99
	$x + 73$	13,63	227	8,94
	$x + 123$	12,49	278	10,95
	$x + 203$	10,77	302	11,89

nombres inscrits dans les deux tableaux précédents ent que, pour le sulfate de cuivre, la valeur réduite roît très-lentement et ne diffère pas sensiblement de qu'a donnée le fil de laiton de $0^{mm},38$ de diamètre. Le e de cuivre se comporte bien différemment. La valeur d'abord plus faible, croît très-rapidement, et la ten- spécifique de la source n'influe pas d'une manière le sur le résultat. Je dois d'ailleurs faire remarquer s dissolutions employées étaient formées avec des pro- purs et dissous dans l'eau distillée. La dissolution de était presque saturée et celle de nitrate ramenée à aximum de conductibilité, c'est-à-dire qu'après avoir turée, on l'avait étendue de deux fois son volume

d'eau. Ces dissolutions étant introduites dans le cir
d'un courant dont faisait partie la boussole, on pouvait,
faisant varier la longueur de la colonne liquide, dé
miner la résistance de la pile, et l'on obtenait des nomb
concordants qui ne différaient que par les dixièmes de m
limètre.

Les particularités que présentent les résultats précéde
ne peuvent donc être attribuées à l'impureté des dissolutio
ou à la variation du diamètre du tube dans lequel ell
étaient contenues.

La conductibilité des liquides variant très-rapideme
avec la température, toutes ces expériences ont été faites
des températures très-peu différentes et comprises entre 2
et 28 degrés.

Les plus faibles modifications apportées à la nature d
liquide employé peuvent altérer notablement les résultats.
C'est ainsi qu'en opérant sur une dissolution de sulfate de
cuivre mélangée d'une très-petite quantité de nitrate, j'a
obtenu pour la longueur calculée du fil induit un nombre
bien supérieur aux valeurs précédentes, comme l'indique le
tableau suivant :

TABLEAU N° XVI. — *On intercale dans le circuit induit une dissolution de sulfate de cuivre mélangée de nitrate.*

LONGUEUR du circuit induit.	$\sqrt{T}$	LONGUEUR CALCULÉE du fil induit.	VALEUR RÉDUITE.
x mm	22,89	mm	m
$x + 32,5$	18,65	$x = 142$	13,80
$x + 72,5$	15,36	147	14,28
$x + 122,5$	12,64	151	14,67
$x + 192,5$	10,67	168	16,32

J'ai opéré aussi sur la triple hélice en prenant pour inducteur le fil moyen et pour induit successivement le fil de cuivre et le fil de laiton formant les hélices extrêmes.

Le sable qui a été choisi pour les expériences est celui de Kœnigslutter, près de Brunswig. On l'a préféré à tout autre, parce qu'il est impossible de se procurer du sable quartzeux parfaitement pur, et que la composition du sable de Kœnigslutter est indiquée dans la Notice de Wiegmann et Polsdorff *sur les parties inorganiques des plantes*.

La poudre de quartz et de cristal de roche employée dans les expériences où il s'agissait d'opérer sur des matériaux d'une grande pureté, a été obtenue en broyant des fragments entre eux après les avoir enveloppés dans du papier. On obtenait ainsi une poudre dont on enlevait soigneusement toutes les traces de papier qui s'y montraient, et dont les particules les plus grossières ne dépassaient pas le volume d'une graine de colza.

Les expériences avec du sable de rivière calciné ont servi de contre-épreuves, attendu que nous nous étions déjà assuré de la fructification complète et normale de l'avoine dans ce milieu pourvu de matières additionnelles et déterminées. Ces contre-épreuves n'ont pas eu seulement pour but de contrôler les effets des matières additionnelles dans les autres expériences, mais encore de faire connaître l'influence des saisons. Le sable de rivière contenait des combinaisons chlorurées dont il était fort difficile de se débarrasser, après la calcination, au moyen du lavage à l'eau, mais que l'on réussit enfin à éliminer après l'avoir fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique.

Le silicate de potasse qui a servi aux expériences a été produit en faisant fondre de la silice non calcinée avec du carbonate de potasse, et en traitant la masse vitreuse par une digestion prolongée dans de l'eau chaude. De cette solution, on prenait des quantités pesées et déterminées pour chaque expérience. L'acide silicique a été obtenu en traitant du cristal de roche par du carbonate de potasse et ensuite par de l'acide azotique.

On a obtenu le carbonate de chaux destiné à être emp comme addition, au moyen de la précipitation de l'az de chaux par le carbonate d'ammoniaque. On a mi plus grands soins à purifier l'azotate de chaux de toute de chlore et de magnésie.

Le phosphate de chaux a été précipité du phosphate d moniaque par l'azotate de chaux.

Le carbonate de magnésie a été précipité du sulfat magnésie pur par du carbonate de potasse.

L'oxyde de fer employé a été obtenu par des *préci successifs* de solutions étendues de chlorure de fer ba mis en présence de succinate d'ammoniaque aussi ne que possible; on ramenait ensuite à l'état de chloru l'on évaporait; on convertissait en azotate d'oxyde de et l'on précipitait de nouveau par du succinate d'am niaque. Le succinate d'oxyde de fer était introduit un creuset fermé, était chauffé jusqu'à une calcin complète. Cet oxyde carbonaté (et probablement mél d'un peu de fer réduit) était, autant que possible, pu de la présence du manganèse; nous le désignerons so nom d'*oxyde magnétique*.

L'alumine a été préparée par la cristallisation d' potassique très-pur, par la précipitation de ce sel mis e gestion avec du carbonate de potasse en excès, par une solution dans de l'acide azotique, et enfin par une nou précipitation à l'aide de l'ammoniaque. Malgré les lav les plus soignés, cette alumine n'a pu être débarrass toute trace *de potasse* et d'acide azotique.

A chaque expérience, la substance principale qui mait la base du sol artificiel a été fixée à un volume é celui de 60 grammes de sable. Lorsqu'il y a eu des ex tions, on les a indiquées. Les expériences qui suiven été faites avec de l'avoine blanche commune, dans chambre inhabitée, exposée au midi. Les plantes on arrosées avec de l'eau distillée.

RECHERCHES

sur la nutrition de l'avoine, particulièrement en ce qui concerne les matières inorganiques qui sont nécessaires à cette nutrition ;

PAR LE PRINCE DE SALM-HORSTMAR.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR MM. BARRAL ET LAVERRIÈRE.

Déjà le Journal de Chimie pratique d'Erdmann a publié en 1848 (t. XLVI, p. 193) la première série de nos recherches sur la végétation. Nous avions fait végéter les plantes sur lesquelles nous avions expérimenté dans un sol composé de charbon de sucre. Mais l'objection, au reste fort naturelle, du caractère anormal d'un pareil sol, et les conseils de M. A. de Humboldt, nous engagèrent à reprendre et à continuer nos expériences, en opérant tantôt sur du sable calciné, tantôt sur de la poudre grossière de quartz ou de cristal de roche, et, pour compléter nos essais, dans de l'acide silicique artificiel et dans d'autres milieux auxquels seraient faites diverses additions.

Ces nouvelles expériences ont eu lieu dans des vases entièrement composés de cire blanche purifiée. Précédemment, les vases dans lesquels nous opérions étaient en verre simplement recouverts à l'intérieur d'une couche de cire; mais nous avions remarqué que cette couche n'empêchait pas entièrement le contact des racines avec les parois du vase, parce que, peu de temps après que l'on y avait déposé un sol humidifié, de petites fentes ou crevasses se manifestaient dans la couche de cire qui servait de revêtement, et laissaient ainsi un passage aux racines. C'est par suite de cet inconvénient que nous avons donné la préférence aux vases entièrement en cire. Ces vases étaient de forme cylindrique, avaient 6 centimètres de hauteur sur 3 centimètres de diamètre, et contenaient facilement

60 grammes de sable. On fut obligé de s'arrêter à ces dimensions, qui paraîtront peut-être un peu petites, à cause des expériences que l'on voulait entreprendre avec le crist de roche pulvérisé.

On a construit les vases de la manière suivante : un cylindre de bois a été recouvert de papier huilé, puis placé debout sur une surface plane de porcelaine; on l'a enveloppé d'un autre cylindre en carton d'un diamètre suffisant pour qu'il restât entre les deux surfaces un vide annulaire d'une largeur déterminée; on a imbibé d'huile la surface intérieure du cylindre en carton, puis rempli le vide annulaire avec de la cire fondue. Après le refroidissement, le cylindre de bois et le cylindre de carton ont été enlevés, et ont laissé à nu un cylindre de cire auquel on a adapté un fond également en cire.

Les matières ajoutées au sable et aux autres milieux qui, dans les expériences suivantes, ne sont pas désignées comme ayant été dissoutes dans l'eau, étaient pulvérisées ensemble et à l'état sec dans un mortier d'agate, puis soigneusement mélangées avec la masse principale dans une capsule de porcelaine; le tout était ensuite humecté avec une dissolution étendue de silicates alcalins, puis mélangé de nouveau, introduit dans le vase en cire et arrosé avec une solution étendue d'azotate d'ammoniaque (dans les cas où celui-ci était employé); enfin la graine d'avoine était déposée de manière à ce que sa pointe vînt affleurer la surface du sol, et l'on ajoutait goutte par goutte autant d'eau distillée que la masse pouvait en absorber. Dans celles des expériences où le silicate de potasse était *préalablement* mélangé à l'azotate d'ammoniaque, afin de se débarrasser d'abord de l'ammoniaque qui devenait libre, on commençait par chauffer, puis on mélangeait la moitié de la liqueur avec la masse sèche que l'on introduisait ensuite dans le vase, après quoi on l'arrosait avec l'autre moitié de la liqueur à laquelle on ajoutait autant d'eau que la masse pouvait en absorber.

N° I. — *Sable calciné de Kœnigslutter près Brunswig.*

Sans aucune substance additionnelle.

Croissance languissante, régulière; cinq feuilles; couleur verte.

Tige de 32 centimètres de haut; deux fleurs, un fruit.

Aucune pousse latérale.

N° II. — *Sable non calciné de Kœnigslutter.*

Sans substances additionnelles inorganiques.

$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 17 grammes d'eau.

Tige de 56 centimètres de haut, languissante, inclinée; six feuilles; coloration vert foncé.

Trois fleurs, deux fruits (très-petits); point de jet latéral.

La formation de deux fruits est due évidemment à ce que le sable qui a servi dans cette expérience n'a pas été calciné.

N° III. — *Poudre de quartz calcinée.*

Sans substances additionnelles inorganiques.

$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 17 grammes d'eau.

Tige de 4 centimètres de haut; quatre feuilles, point de fleurs; coloration vert pâle.

Une circonstance accidentelle semblerait avoir agi dans ce cas, *si le sable de la deuxième expérience* avait été complétement libre de silicates.

N° IV. — *Sable de Kœnigslutter calciné.*

Sans substances additionnelles azotées.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } dissous dans 17 grammes d'eau à
$0^{gr},018$ de potasse } l'état de silicate de potasse.
$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.

$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique.

Tige haute de 32 centimètres, très-languissante; feuilles; coloration d'un vert vif.

Une fleur incomplète, sans fruit.

Un jet latéral.

N° V. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'a chlorhydrique, lavé et ensuite calciné.*

Sans chaux.

$0^{gr},035$ d'acide silicique
$0^{gr},018$ de potasse } à l'état de silicate de potasse.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},03$ de phosphate d'ammoniaque et de magnésie.
$0^{gr},02$ de sulfate de potasse.
$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique.
$0^{gr},028$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d mélangé puis chauffé avec le silicate de potasse dissous 7 grammes d'eau, jusqu'à ce que l'odeur ammoniacale ai grande partie disparu; après quoi, addition d'eau jusqu'à c la solution ait atteint le volume de 17 grammes d'eau.

Lorsque la seconde feuille a été développée, la pren était morte, et la plante a péri avant le développer d'une troisième feuille.

Ni tige, ni fleur.

N° VI. — *Quartz blanc bouilli avec de l'acide chlo drique, lavé et calciné.*

Sans addition de chaux.

$0^{gr},035$ d'acide silicique
$0^{gr},018$ de potasse } à l'état de silicate de potasse.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},03$ de phosphate d'ammoniaque et de magnésie.

0gr,02 de sulfate de potasse.
0gr,025 d'oxyde de fer magnétique.
0gr,001 de carbonate de protoxyde de manganèse.
0gr,028 d'azotate d'ammoniaque mélangé avec le silicate de potasse, chauffé, etc., etc., comme au n° V.

Mort à la deuxième feuille, sans que la troisième feuille ait pu se développer.

Ni tige, ni fleur.

N° VII. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'acide chlorhydrique, lavé et calciné.*

Sans magnésie.

0gr,035 d'acide silicique } silicate de potasse.
0gr,018 de potasse }
0gr,01 de carbonate de chaux.
0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,025 d'oxyde de fer magnétique.
0gr,028 d'azotate d'ammoniaque mélangé au silicate de potasse, et traité comme au n° V.

Tige haute de 40 centimètres, inclinée, languissante; six feuilles; coloration d'un vert jaunâtre.

Deux fleurs rabougries, sans aucun fruit.

Trois jets latéraux qui ont apparu au moment où la tige périssait.

N° VIII. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'acide chlorhydrique, lavé et calciné.*

Sans potasse.

0gr,05 d'acide silicique hydraté.
0gr,1 de carbonate de chaux.
0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,025 d'oxyde de fer magnétique.
0gr,028 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 17 grammes d'eau.

Tige haute de 22 centimètres, très-languissante, inclir six feuilles d'un vert pâle, à bords rugueux.

Une fleur, point de fruit; aucun jet latéral.

N° IX. — *Poudre blanche de quartz bouillie dans de l cide chlorhydrique, lavée et calcinée.*

Sans silicate de potasse.

Mêmes matières ajoutées qu'à la huitième expérience l'exception de l'acide silicique hydraté qui a été rempl par $0^{gr},001$ de carbonate de protoxyde de manganèse.

Tige haute de 8 centimètres; six feuilles; colorat verte pour les quatre feuilles inférieures, plus jaune p les deux autres.

La feuille précédente mourait quand la suivante se dé loppait. Pas de fleurs.

N° X. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'ac chlorhydrique, lavé et calciné.*

Sans acide phosphorique.

$0^{gr},035$ d'acide silicique
$0^{gr},018$ de potasse } silicate de potasse.
$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique.
$0^{gr},028$ d'azotate d'ammoniaque, mélangé avec le silicate potasse, chauffé et traité comme au n° V.

Tige haute de 51 centimètres, languissante, légèrem inclinée, courbée; cinq feuilles de couleur vert pâle; d fleurs, dont une incomplète; point de fruit; un jet laté

N° XI. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'ac chlorhydrique, lavé et calciné.*

Sans acide sulfurique.

Mêmes corps ajoutés qu'à la dixième expérience, exce le sulfate de chaux que l'on a remplacé par 3 centigram de phosphate de chaux.

Tige haute de 4 centimètres; trois feuilles, dont la troisième resta filiforme et contournée; elle mourut sans qu'une quatrième feuille ait commencé à se développer.

Un jet latéral de hauteur à peu près égale à celle de la tige.

N° XII. — *Sable de Kœnigslutter bouilli avec de l'acide chlorhydrique, lavé et calciné.*

Sans fer.

0gr,035 d'acide silicique 0gr,018 de potasse	silicate de potasse dissous dans 17 gr. d'eau.

0gr,1 de carbonate de chaux.
0gr,04 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,04 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 15 grammes d'eau, avec lequel on a arrosé la masse introduite dans le vase après l'avoir intimement mélangée.

Tige haute de 20 centimètres, languissante, inclinée; première feuille verte; deux et trois feuilles plus jaunâtres; les feuilles suivantes, d'une coloration pâle, comme si elles avaient été privées de l'action de la lumière.

Aucun nœud n'est sorti de la gaîne des feuilles. Pas de fleurs, mais deux embryons de fleurs enfermés dans la gaîne transparente sans qu'ils aient percé. Un jet latéral, après l'apparition duquel la croissance de la tige principale s'est arrêtée.

N° XIII. — *Poudre de cristal de roche, calcinée.*

Sans fer.

0gr,017 d'acide silicique 0gr,009 de potasse	silicate de potasse dissous dans 5 gr. d'eau.

0gr,2 de carbonate de chaux.
0gr,04 de phosphate de chaux.
0gr,04 de sulfate de chaux.
0gr,03 de carbonate de magnésie.

$0^{gr},02$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 5 grammes d'eau, mélangé à la solution du silicate de potasse, et le tout chauffé jusqu'à disparition de l'odeur ammoniacale.

Tige haute de 35 centimètres, courbée, languissante; six feuilles, dont la première était verte; les quatre suivantes étaient d'un jaune pâle avec gaînes vertes; la sixième était verte, mais très-courte. Les feuilles avaient les bords rugueux. Tous les nœuds sont restés dans les gaînes.

Trois fleurs de couleur verte; un fruit très-petit; pas de jet latéral. Le fruit a subi l'épreuve germinative, dont les effets ont été un peu lents.

N° XIV. — *Poudre de cristal de roche, calcinée.*

Sans fer.

($0^{gr},035$) d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans
$0^{gr},018$ de potasse } 10 grammes d'eau.
$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.

($0^{gr},07$) d'*acide azotique* de 26°,3, étendu de 4 grammes d'eau, mélangé ensuite avec la solution du silicate de potasse; comme, dans ce mélange, il se manifeste encore une légère réaction acide, on neutralise avec un peu de silicate de potasse ajouté jusqu'à ce qu'il se montre une nuance de réaction alcaline. De cette solution ainsi préparée, *la moitié* seulement étendue de 10 grammes d'eau fut ajoutée à la masse.

Tige haute de 41 centimètres, inclinée, languissante; six feuilles, dont la première et la sixième de couleur verte, les autres très-pâles, plutôt jaunes que vertes; dans le milieu de la quatrième feuille une bande longitudinale brunâtre; la cinquième feuille couverte de rouille; les feuilles ayant les bords convenablement rugueux; la dernière feuille très-courte.

Une fleur, un fruit complet. L'épreuve germinative se montre lente dans son développement.

N° XV. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Sans fer, avec poudre d'os.

0gr,026 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 15 gr.
0gr,013 de potasse } d'eau.
0gr,1 de carbonate de chaux.
0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,2 de poudre d'os frais de bœuf.

La première feuille, de conformation anormale, verte; la deuxième feuille s'est développée avec une lenteur rare. Pas de troisième feuille; mais du col des racines est parti un jet latéral long de 8 centimètres, pourvu de quatre feuilles très-maigres, d'un vert douteux, et qui moururent peu de temps après leur développement. Pas de fleur.

On enleva cette plante. Au milieu dans lequel elle avait végété on ajouta 25 milligrammes d'oxyde de fer magnétique et 1 milligramme de carbonate de protoxyde de manganèse que l'on mélangea à la masse avec beaucoup de soin, et l'on y déposa une nouvelle graine d'avoine. Il en sortit une tige longue de 35 centimètres, munie de cinq feuilles d'un vert vif. La tige, languissante, mais normalement conformée, portait une fleur sans fruit; à côté d'elle, se formèrent deux jets latéraux.

La maigre croissance de cette dernière plante doit paraître étonnante quand on pense à la puissance fertilisante de la poudre d'os, même dans les sables les plus légers, et à la quantité de 2 décigrammes de cette substance qui constitue ici, relativement au milieu de végétation, une riche fumure. Cette particularité doit sans doute être attribuée à ce que la poudre d'os, qui sert à la fumure des champs, est préalablement arrosée et laissée en tas jusqu'à ce qu'elle s'échauffe et qu'elle répande une odeur ammoniacale, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il y ait un commencement de fermentation, ce qui n'a pas eu lieu dans le cas présent.

N° XVI. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec oxyde de fer, sans manganèse.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10 g
$0^{gr},018$ de potasse } d'eau.
$0^{gr},01$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique parfaitement exempt de manganèse.
$0^{gr},016$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 7 grammes d'eau.

L'oxyde de fer n'a pas été mêlé à la masse, comme dans les autres expériences; on l'a simplement déposé au fond du vase. Après que la quatrième feuille a été à moitié développée, on a vu paraître, sur la troisième feuille, les traces d'une tache brunâtre; la partie de la feuille qui est recouverte d'une tache semblable est comme desséchée. (Ces taches ressemblent beaucoup à celles que l'on voit sur les plantes d'avoine élevées dans du charbon de sucre mélangé à une trop forte proportion de fer.) Lorsque la sixième feuille eut atteint son entier développement, la tache brunâtre de la troisième feuille occupait une longueur de 5 centimètres à la base de la feuille, et avait envahi toute sa largeur. Plus tard, des taches pareilles se montrèrent sur la troisième, la cinquième et la sixième feuille; cette dernière surtout eut les plus fortes; en outre, elle s'était légèrement contournée.

Tige haute de 38 centimètres, normalement développée; six feuilles à bords rugueux; coloration d'un vert vif jusque vers les taches; trois fleurs, sans fruit; deux jets latéraux.

N° XVII. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec oxyde de fer, sans manganèse.

Les substances ajoutées ici ont été les mêmes qu'au n° XVI, avec cette différence que l'on a pris 4 centi-

mmes d'azotate d'ammoniaque dissous dans 2 grammes eau; on a mélangé cette liqueur avec le silicate de potasse sous dans 10 grammes d'eau; le tout a été chauffé jus- à la presque entière disparition de l'odeur ammoniacale, is augmenté d'une quantité d'eau suffisante pour lui nner le volume de 17 grammes d'eau.

Au lieu d'être déposé au fond du vase, l'oxyde de fer a té soigneusement mêlé à la masse entière.

Tige longue de 49 centimètres, normale, vigoureuse; ix feuilles, d'un vert vif, sans taches; six fleurs complètes, ans fruits; deux jets latéraux.

N° XVIII. — *Poudre de cristal de roche calcinée.*

Avec phosphate de fer, sans manganèse.

0gr,035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10 gr.
0gr,018 de potasse } d'eau.

0gr,1 de carbonate de chaux.

0gr,03 de phosphate de chaux.

0gr,03 de sulfate de chaux.

0gr,02 de carbonate de magnésie.

0gr,05 de phosphate de fer, séché à douce température, réduit en poudre fine, mélangé au cristal de roche; le tout ensemble calciné.

0gr,04 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 2 grammes d'eau; ce liquide est mélangé à la solution du silicate de potasse, chauffé jusqu'à ce que la plus grande partie de l'ammoniaque se soit volatilisée, ramené par une addition d'eau au volume de 17 centimètres cubes.

Tige haute de 49 centimètres, vigoureuse; six feuilles l'un vert foncé, sans taches; six fleurs, dont une rabougrie; as de fruit.

Deux jets latéraux, l'un parti du nœud inférieur, l'autre lu nœud suivant; ces jets ne se montrant, comme dans la lupart de ces expériences, que lorsque les fleurs appaaissent à la tige principale et qu'une fructification convenable n'a pas lieu.

N° XIX. — *Poudre de cristal de roche calcinée.*

Avec manganèse et oxyde de fer.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10g
$0^{gr},018$ de potasse } d'eau.
$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique.
$0^{gr},001$ de carbonate de protoxyde de manganèse.
$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d'ea mélangé à la solution de silicate de potasse, chauffé et éten comme au n° XVIII.

Tige haute de 50 centimètres; six feuilles d'un vert fonc sans taches; cinq fleurs, sans fruit; deux jets latéraux.

N° XX. — *Poudre de cristal de roche calcinée.*

Avec moins de fer, avec manganèse.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 g
$0^{gr},018$ de potasse } d'eau.
$0^{gr},2$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},04$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},01$ d'oxyde de fer magnétique.
$0^{gr},001$ de carbonate de protoxyde de manganèse.
$0^{gr},028$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d'ea mélangé à la solution de silicate de potasse, chauffé, ramené p de l'eau au volume de 17 grammes comme au n° XVIII.

Tige haute de 42 centimètres; cinq feuilles d'un ve pâle, avec stries jaunes, causées par *la diminution du fe*
Quatre fleurs, sans fruits; deux bourgeons latéraux q ont paru quand la plante a commencé à fleurir.

N° XXI. — *Poudre de quartz calcinée.*

Avec hydrate d'oxyde de fer, sans manganèse.

0gr,030 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10gr.
0gr,020 de potasse } d'eau.
0gr,1 de carbonate de chaux.
0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr.03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,1 d'oxyde de fer hydraté, exempt de sel basique.
0gr,05 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

On a pris, dans cette expérience, un peu plus de 60 grammes de poudre de quartz, parce que 60 grammes de poudre de quartz n'auraient pas pu absorber toutes les matières liquides.

Tige haute de 66 centimètres; sept feuilles; la troisième d'un vert très-pâle avec stries jaunes; la quatrième et les suivantes d'un vert très-vif, mais ces dernières feuilles étant très-courtes. Sur le milieu de la quatrième se montrait une tache brunâtre, qui a paru au moment où la sixième feuille s'est développée. D'autres taches pareilles se sont montrées ensuite sur les autres feuilles; ces taches étant surtout très-fortes à la base de la septième feuille, qui, sur ce point, s'était entièrement contournée sur elle-même. Les feuilles n'avaient pas les bords normalement rugueux.

On a rencontré, dans l'intérieur du sol, un grand nombre d'infusoires de couleur verte, qui semblent avoir provoqué une conversion partielle de l'oxyde en protoxyde, et expliquer l'action de l'oxyde hydraté.

Neuf fleurs entièrement rabougries, sans fruits; deux ets latéraux.

Une expérience semblable, faite avec du charbon de sucre, a montré, plus fortement encore, la décomposition de l'oxyde de fer hydraté; car, dans cette expérience, les feuilles

vert foncé ont été complétement rongées par les taches ferrugineuses, ce qui empêcha la formation de la tige et fit mourir la plante.

N° XXII.—*Poudre de quartz calcinée.*

Avec soude, au lieu de potasse, et avec alumine.

0^{gr},031 d'acide silicique } silicate de soude dissous dans 8 gr.
0^{gr},018 de soude } d'eau.
0^{gr},1 de carbonate de chaux.
0^{gr},03 de phosphate de chaux.
0^{gr},03 de sulfate de chaux.
0^{gr},02 de carbonate de magnésie.
1^{gr},0 d'alumine hydratée, prise à l'état humide sur le filtre, mélangée intimement avec la poudre de quartz, le tout séché à une douce température, puis réuni aux autres substances additionnelles sèches. Un gramme de cette alumine humide ne pesait plus, après dessiccation, que 0^{gr},03; on l'a obtenue en faisant réagir l'ammoniaque sur l'azotate d'alumine.
0^{gr},025 d'oxyde de fer magnétique.
0^{gr},001 de carbonate de protoxyde de manganèse.
0^{gr},038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d'eau, mélangé à la solution de silicate de soude; l'ammoniaque en grande partie chassée par l'exposition à une certaine température; enfin le tout ramené par une addition d'eau au volume de 17 grammes d'eau.

Tige haute de 16 centimètres, languissante; cinq feuilles d'un vert vif : la cinquième feuille striée de bandes d'un roux-jaunâtre; une fleur seulement, sans fruit; trace d'un jet latéral.

N° XXIII. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec alumine, sans fer.

0^{gr},026 d'acide silicique } silic. de pot. diss. dans 7 gr. d'eau et
0^{gr},013 de potasse } mélangé avec la solut. aluminopotas.
0^{gr},03 de solution alcaline aluminopotassique contenant 0,0004 d'alumine.
0^{gr},1 de carbonate de chaux.

$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Tige haute de 46 centimètres, courbée, languissante; six feuilles, dont les deux premières et la dernière seulement étaient vertes, les autres étaient blanchâtres; les fleurs, de couleur verte; quatre fleurs dont deux rabougries, sans fruits.

La solution aluminopotassique contenait $0^{gr},0004$ d'alumine; elle avait la proportion de potasse nécessaire pour la saturation de l'alumine.

N° XXIV. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec aluminate de potasse, avec fer.

Les mêmes substances additionnelles qu'à l'expérience précédente, n° XXIII, auxquelles on ajoute :

$0^{gr},06$ d'oxyde de fer hydraté.
$0^{gr},001$ de carbonate de protoxyde de manganèse.

Tige longue de 56 centimètres; six feuilles vertes sans taches, la quatrième et la cinquième seulement couvertes de stries longitudinales jaunes; sept fleurs complètes; pas de fruit.

Deux jets latéraux, verts, dont l'un, après la mort de la tige principale, portait encore cinq fleurs languissantes, dépourvues de fruits.

N° XXV. — *Poudre de cristaux de quartz calcinée.*

Avec aluminate de potasse, avec fer et manganèse.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } silic. de pot. diss. dans 10 gr. d'eau
$0^{gr},018$ de potasse } et mélangé à la sol. aluminopotass.
$0^{gr},02$ de solution aluminopotassique contenant environ $0^{gr},0003$ d'alumine.
$0^{gr},01$ de carbonate de chaux.

0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,025 d'oxyde de fer magnétique.
0gr,001 de carbonate de protoxyde de manganèse.
0gr,028 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 7 grammes d'e

Tige haute de 43 centimètres; cinq feuilles toutes vert trois fleurs, un fruit; deux petits jets latéraux.

N° XXVI. — *Poudre de cristaux de quartz calcinée.*

Avec hydrate d'alumine, sans fer.

0gr,026 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10 g
0gr,013 de potasse. } d'eau.

1gr,5 d'alumine hydratée prise humide sur le filtre, et, dans c état, intimement mélangée avec la poudre de quartz; le tout séch puis réuni aux autres substances additionnelles. La masse conte nait 0,045 d'alumine hydratée sèche.

0gr,1 de carbonate de chaux.
0gr,03 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
0gr,038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 7 grammes d'eau.

Tige haute de 51 centimètres, courbée, mais beaucoup plus vigoureuse que les plantes élevées, obtenues sans alumine et sans fer.

Six feuilles jaunes, avec stries vertes; gaînes écartées de la tige.

Six fleurs vigoureuses, mais plutôt jaunes que vertes; pas de fruit; un jet latéral.

L'alumine contenait encore des traces de fer : on avait hésité à la purifier par l'emploi du ferrocyanure de potassium.

N° XXVII. — *Poudre de cristal de roche calcinée.*

Avec alumine et fer.

0gr,035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 gr.
0gr,018 de potasse } d'eau.

de carbonate de chaux.
,5 d'hydrate d'alumine sec.
,03 de phosphate de chaux.
,03 de sulfate de chaux.
,02 de carbonate de magnésie.
,025 d'oxyde de fer magnétique.
r,001 de carbonate de protoxyde de manganèse.
r,038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d'eau, angé à la solution du silicate de potasse, chauffé jusqu'à dispa- on de l'odeur ammoniacale; volume ramené à 17 grammes au.

Tige haute de 55 centimètres; cinq feuilles vertes : les quatrième et cinquième feuilles ayant des stries jaunes; sept fleurs normales et trois autres fleurs rabougries; deux fruits; deux jets latéraux.

Les deux fruits ont supporté l'épreuve de la germination avec un peu de lenteur dans le développement.

N° XXVIII. — *Poudre de quartz lavée, puis calcinée.*

Avec argile d'Almérode (contenant du fer et du manganèse).

$0^{gr},026$ d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 gr.
$0^{gr},013$ de potasse } d'eau.
$0^{gr},01$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},3$ d'argile d'Almérode, lavée, légèrement calcinée, contenant du fer et du manganèse.
$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 8 grammes d'eau.

Tige haute de 63 centimètres; six feuilles vert foncé; quelques stries longitudinales jaunes sur la troisième feuille seulement.

Huit fleurs, cinq fruits complets; deux très-petits bourgeons de jets latéraux.

La germination a été complète pour les fruits, même pour le cinquième, qui était petit. Dans la glume où l'épillet

se trouvait enfermé, le grain principal était vide, [illegible] que les petits grains étaient complets, ce qui prouve [illegible] nature sait distribuer économiquement ce qui lui est [illegible] en moins (relativement au reste des substances nutri[illegible] pour le développement normal de fruits.

L'alumine ajoutée contient donc le *quelque chose* n[illegible] saire pour la fructification convenable, mais en trop p[illegible] quantité sans doute. Ce quelque chose est probablemen[illegible] la soude.

N° XXIX. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec feldspath de Baveno, sans addition de fer.

$0^{gr},035$ d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 [illegible]
$0^{gr},018$ de potasse } d'eau.

$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.

$0^{gr},29$ de feldspath de Baveno, non calciné, en poudre très-fine.

$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.

$0^{gr}.03$ de sulfate de chaux.

$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.

$0^{gr},04$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Tige haute de 43 centimètres, languissante; les nœuds restant cachés dans les gaînes; six feuilles, dont les deux premières vert foncé; les autres très-pâles, plutôt jaunes que vertes; cinq fleurs sans fruits; un jet latéral.

La plante n'a pas pu absorber assez de fer, parce que le feldspath n'était pas désagrégé.

N° XXX. — *Poudre de quartz calcinée.*

Avec feldspath de Baveno et oxyde de fer.

Mêmes substances additionnelles qu'au n° XXIX, avec les différences suivantes :

$0^{gr},2$ de feldspath de Baveno répandu sur le fond du vase.

$0^{gr},12$ d'hydrate d'oxyde de fer contenant du manganèse, mélangé intimement avec la poudre de quartz et ensuite *calciné*.

$0^{gr},05$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

On constata que la troisième et la quatrième feuille ient très-peu vertes; pour obvier à cet inconvénient, on onça dans le sol, à l'apparition de la cinquième feuille, fil de fer de 5 centimètres de long, mais on ne réussit pas donner, par ce moyen, une couleur verte aux feuilles, oiqu'il ait eu beaucoup de succès sur les plantes élevées ns du charbon de sucre.

Tige haute de 38 centimètres; un seul nœud sorti de la gaîne de la feuille; six feuilles, dont les troisième et quatrième plus jaunes que vertes, les cinquième et sixième tout à fait pâles; les gaînes des trois feuilles inférieures détachées de la tige.

Quatre fleurs; deux fruits complets, mais petits; deux petits jets latéraux. Les deux fruits ont parfaitement germé.

N° XXXI.—*Poudre de quartz cristallisé, calcinée, lavée.*

Avec feldspath artificiel.

$0^{gr},035$ d'acide silicique, $0^{gr},018$ de potasse } silicate de potasse dissous dans 7 gr. d'eau.

$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.

$0^{gr},13$ de feldspath *artificiel* (1) produit en faisant bouillir une solution du silicate de potasse avec de l'alumine dissoute dans une solution de potasse, en lavant le précipité, et en faisant sécher.

$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.

$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.

$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.

$0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique.

$0^{gr},001$ de carbonate de protoxyde de manganèse.

$0^{gr},038$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Tige haute de 70 centimètres, aussi vigoureuse que les tiges des plantes élevées dans du sable de rivière, et qui mesurent 90 et 100 centimètres de hauteur normale; six feuilles d'un vert vif.

(1) L'expression de feldspath artificiel est inexacte, parce que le composé ici obtenu contient moins d'acide silicique que le feldspath; elle est employée à cause de sa brièveté.

Six fleurs; six fruits, dont deux seulement étaient complets, car ces deux fruits seuls soutinrent l'épreuve de la germination; deux jets latéraux faibles et un jet vigoureux, qui parurent lorsque les fleurs de la tige devinrent jaunes. Le jet vigoureux porta des fleurs.

N° XXXII. — *Poudre de quartz cristallisé, calcinée.*

Avec zéolite d'Islande (Nadelstein ou Scolézite).

Les mêmes matières additionnelles qu'au n° XXXI; seulement, à la place du feldspath artificiel,

$0^{gr},2$ de zéolite d'Islande.
$0^{gr},06$ d'hydrate d'oxyde de fer, au lieu de sesquioxyde.

Tige haute de 46 centimètres; six feuilles vertes avec bandes jaunes; les bords unis, mais trop rugueux vers la pointe; les gaînes des deux feuilles inférieures détachées de la tige.

On a choisi la zéolite, afin d'obtenir un silicate d'alumine parfaitement naturel et libre de soude, et parce que ce corps est plus facilement soluble dans les acides que le feldspath.

N° XXXIII. — *Sable de rivière calciné* (1).

$0^{gr},017$ d'acide silicique, $0^{gr},009$ de potasse } silicate de potasse dissous dans 5 gr d'eau.
$0^{gr},1$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},03$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},03$ de sulfate de chaux.
$0^{gr},02$ de carbonate de magnésie.
$0^{gr},02$ d'azotate d'ammoniaque dissous dans 5 grammes d'eau.

(1) Ce sable de rivière, ainsi que celui qui servit aux expériences suivantes, vient d'une localité de la Westphalie qui est riche en détritus granitiques. Après la calcination complète, il est d'une couleur de rouille pâle et contient beaucoup de petits grains noirâtres qui ne sont pas influencés par l'aimant. 30 grammes de ce sable donnent, par l'acide chlorhydrique, 0,06 d'oxyde de fer hydraté qui contient un peu d'acide phosphorique et de manganèse. On trouva aussi de l'alumine et de la chaux dans les acides qui avaient servi à l'opération.

mélangé à la solution du silicate de potasse, et chauffé jusqu'à disparition presque entière de l'odeur ammoniacale.

Tige haute de 72 centimètres, très-vigoureuse; six feuilles d'un vert foncé, à bords rugueux; neuf fleurs, huit fruits; pas de jets latéraux.

N° XXXIV. — *Sable de rivière calciné.*

Les mêmes substances additionnelles qu'au n° XXXIII, mais en plus :

ogr,035 de silice
ogr,018 de potasse } silicate de potasse dissous dans 5 gr. d'eau.

ogr,038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 2 grammes d'eau, mélangé au silicate de potasse, chauffé pour chasser la plus grande partie de l'odeur ammoniacale, ramené, avec de l'eau, au volume de 17 centimètres cubes pour servir de contre-épreuve pour plusieurs des expériences précédentes.

Tige haute de 61 centimètres, vigoureuse; cinq feuilles d'un vert foncé; huit fleurs, six fruits; pas de jets latéraux.

Cette expérience a commencé le 19 juillet; au 3 novembre le fruit était mûr, tandis que l'expérience n° XXXIII a commencé le 22 mai, et a donné des fruits mûrs au 8 août.

N° XXXV. — *Sable de rivière bouilli avec de l'acide chlorhydrique, lavé et calciné.*

ogr,038 d'acide silicique
ogr,016 de potasse } silicate de potasse dissous dans 7 gr. d'eau.
ogr,1 de carbonate de chaux.
ogr,03 de phosphate de chaux.
ogr,03 de sulfate de chaux.
ogr,02 de carbonate de magnésie.
ogr,038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 8 grammes d'eau.

Tige, 76 centimètres de haut; sept feuilles d'un vert foncé, vigoureuses; onze fleurs, neuf fruits complets; deux autres fleurs sans fruits. La plante coupée pesait, sèche, 9 décigrammes. Pas de jet latéral.

Cette expérience fut faite en double; le second résultat a également donné une tige vigoureuse, à feuilles vert foncé; dix fleurs, dix fruits complets, sans jet latéral.

Pour débarrasser le sable de l'acide chlorhydrique, on a lavé jusqu'à ce que les eaux de lavage ne donnassent plus de précipité par le chlorure d'argent.

Nous attribuons à cette expérience une valeur particulière, parce qu'elle semble prouver, qu'en outre des substances additionnelles indiquées ci-dessus, il faut encore quelque chose pour obtenir une fructification complète, et que le sable employé contient ce quelque chose inorganique.

Après avoir été traité par l'acide chlorhydrique et par la calcination, ce sable était incolore; il y avait même décoloration des petits grains rouges de feldspath et des grains assez nombreux et très-fins qui étaient noirâtres, et qui contenaient un peu de fer.

La plante de l'expérience n° XXXV, ayant été coupée, fut entièrement carbonisée sous l'influence d'une douce température. Le charbon obtenu, brûlé avec de l'éponge de platine aussi pure que possible, donna, après retranchement du platine, 55 milligrammes de cendres, ce qui fait 7 de cendres pour 100 du poids de la plante sèche. On y rencontra des traces positives du fer; son analyse a donné

18 pour 100 de potasse..... (0^{gr},010),
52,7 pour 100 d'acide silicique..... (0^{gr},029).

On n'a pas déterminé les autres parties constituantes de cette cendre.

N° XXXVI. — *Sable de rivière particulièrement calciné.*

Avec chlorure de potassium, carbonate de soude, sesquioxyde de fer.

0^{gr},035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 gr.
0^{gr},018 de potasse } d'eau.

0^{gr},001 de carbonate de soude dissous avec le silicate de potasse.

0^{gr},1 de carbonate de chaux.

0gr,03 de phosphate de chaux.

0gr,03 de sulfate de chaux.

0gr,02 de carbonate de magnésie.

(0gr,025) oxyde de fer magnétique (outre l'oxyde que contenait le sable calciné).

0gr,005 de chlorure de potassium dissous avec le silicate de potasse.

0gr,05 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Après avoir reposé pendant dix jours, la masse fut *de nouveau remuée et mélangée*, après quoi on plaça la graine, et l'on arrosa avec de l'eau. Le sable de rivière était calciné de façon à ce que tout l'oxyde de fer hydraté, qui entrait dans sa composition, ne fût pas entièrement converti en oxyde. On avait dirigé l'opération de telle sorte que la partie inférieure de la masse contenue dans le creuset fût colorée en noir après la calcination par l'oxyde de fer magnétique, parce que l'on voulait que le mélange contînt un excès de ce dernier oxyde.

Formation de la tige anormale; feuilles d'un vert foncé, à bords unis; la tige extraordinairement grosse à la base. Les cinq feuilles inférieures pressées l'une contre l'autre; les quatrième et cinquième feuilles présentant de fortes taches ferrugineuses; les gaînes détachées de la tige. Dès l'apparition de la cinquième feuille, quoique la tige ne fût pas encore complétement formée, et avant la floraison, formation de plusieurs jets latéraux, ayant également des feuilles à bords unis. Ce ne fut que lorsque les jets latéraux eurent acquis une hauteur de 14 centimètres égale à celle de la tige principale, que celle-ci commença à monter.

Tige principale haute de 49 centimètres; sept feuilles, dont la dernière seule est à bords rugueux. Six fleurs complétement rabougries; aucun fruit. L'un des jets latéraux acquit 46 centimètres de hauteur, avec trois fleurs rabougries sans fruit.

On ne saurait méconnaître la trop grande action du fer;

on pourrait peut-être expliquer, par cette action, tous les phénomènes particuliers présentés par la plante, si l'expérience suivante, n° XXXVII, ne venait rectifier une vue semblable.

Une expérience pareille à celle-ci fut entreprise en même temps avec du charbon de sucre. Les résultats furent identiques, à l'exception des taches ferrugineuses qui ne parurent pas; la plante fut en outre proportionnellement beaucoup moins vigoureuse.

N° XXXVII. — *Sable de rivière calciné.*

Avec chlorure de potassium, carbonate de soude, sans oxyde de fer magnétique.

Les mêmes substances additionnelles que dans l'expérience précédente, mais *sans* oxyde de fer magnétique; le sable a été calciné complétement, et, au lieu de présenter, comme au n° XXXVI, des parcelles encore noirâtres, la masse était de couleur rougeâtre dans toutes ses parties.

La masse n'a pas été remuée une seconde fois, comme au n° XXXVI.

Au commencement, la formation de la tige était aussi anormale qu'au n° XXXVI; les feuilles se comportaient de la même manière, mais n'avaient pas de taches ferrugineuses; les bords étaient unis, mais seulement pour les quatre feuilles inférieures de la tige principale. On a constaté également l'apparition prompte de plusieurs jets latéraux, avec cette différence, que les feuilles des jets latéraux avaient les bords rugueux, que ces jets latéraux se sont développés en même temps que les feuilles supérieures de la tige principale, et que ces dernières avaient des bords également rugueux. L'ensemble de la plante était normalement vert. Enfin ce ne fut que lorsque les jets latéraux eurent atteint la hauteur de la tige principale, que celle-ci commença sérieusement à monter, comme au n° XXXVI.

Tige principale haute de 60 centimètres; six feuilles, dix

fleurs, neuf fruits; un jet latéral, qui porta cinq fleurs et cinq fruits, et deux petits jets latéraux sans fleurs. La plante a donc produit quatorze fruits en tout.

Une expérience entreprise, en même temps que celle-ci, dans du sable de rivière bien calciné, mais sans chlorure de potassium et sans carbonate de soude, toutes les autres substances additionnelles restant les mêmes, a produit une tige de formation normale, ayant 70 centimètres de haut, huit fleurs, six fruits, mais pas de jet latéral. Les expériences XXXIII, XXXIV et XXXV, faites également dans du sable de rivière, n'ont pas donné non plus de jets latéraux.

Nous devons encore faire remarquer que les deux portions de sable de rivière qui ont servi à l'expérience n° XXXVII et à l'expérience précédente n'ont pas été calcinées *ensemble;* par conséquent il pourrait être resté, après la calcination, une proportion d'oxyde de fer peut-être un peu trop forte dans le sable du n° XXXVII, ce qui expliquerait les phénomènes qui se sont manifestés dans sa végétation. Cependant l'absence complète de taches ferrugineuses (qui se montrent toujours quand l'oxyde de fer est en excès) et la fructification remarquable *empêchèrent* complétement d'admettre que ces phénomènes fussent causés par trop de fer dans le sable.

Puisque les deux expériences ne se distinguent que par du chlorure de potassium et du carbonate de soude, ajoutés dans un cas et évités dans l'autre, on doit en conclure que ce sont ces deux corps, ou du moins l'un d'eux, qui sont cause :

1°. De la formation de jets latéraux dans du sable de rivière, ce qui n'avait pas eu lieu auparavant;

2°. De la formation des jets latéraux *avant* la formation des fleurs de la tige principale et leur fructification;

3°. D'une augmentation dans la production des fruits

N° XXXVIII. — *Pierre à fusil grossièrement pulvérisée, calcinée.*

Avec chlorure de potassium et carbonate de soude.

La pierre à fusil a été broyée dans un mortier de fer, puis calcinée, bouillie avec de l'acide chlorhydrique et bien lavée.

Les substances additionnelles ont été les mêmes qu'au n° XXXVII; seulement on ajouta en plus $0^{gr},025$ d'oxyde de fer magnétique qui avait été pulvérisé avec environ 1 décigramme de charbon de sucre. Après dix jours de repos, la masse a été remuée et mélangée comme au n° XXXVI.

Au commencement, la croissance de la plante était normale, mais le vert n'avait pas de vivacité ; les feuilles inférieures avaient les bords rugueux, tandis que les feuilles supérieures avaient les bords unis. On remarqua beaucoup de taches brunes sur les feuilles ; la cinquième feuille ne put se développer complétement. La plante, visiblement malade, ne s'éleva pas au-dessus de 8 centimètres, n'eut pas de fleurs, et poussa plusieurs jets latéraux longs de 5 centimètres et de formation anormale.

La cause du peu de croissance de cette plante reste cachée ; elle ne peut provenir de ce que les parcelles de la pierre à fusil étaient trop grossières, ce qui aurait empêché son mélange intime avec les autres matières additionnelles, car la poudre de pierre à fusil n'était pas plus grosse que celle du quartz qui a servi aux expériences précédentes.

N° XXXIX. — *Carbonate de chaux artificiel, sans traces de chlore.*

$0^{gr},040$ d'acide silicique, $0^{gr},019$ de potasse } silicate de potasse dissous dans 7 gr. d'eau.
$28^{gr},0$ de carbonate de chaux.
$0^{gr},04$ de phosphate de chaux.
$0^{gr},05$ de sulfate de chaux.

0gr,02 de carbonate de magnésie.
Fer à l'état de fil de fer.
0gr,05 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.
0gr,002 de carbonate de manganèse ajouté après coup.

Les 28 grammes de carbonate de chaux, formant ici le milieu dans lequel plongeaient les racines, ont été obtenus par de l'azotate de chaux purifié du chlore qu'il pouvait contenir par l'azotate d'argent; on a enlevé ensuite l'argent par un courant d'hydrogène sulfuré; on a précipité avec de l'acide oxalique d'une grande pureté, et enfin l'oxalate de chaux a été calciné. Le fil de fer a été fixé dans le sol pour fournir le principe ferrugineux; on a choisi ce moyen parce qu'on a cru qu'il était difficile de mélanger intimement 25 milligrammes d'oxyde de fer magnétique avec le carbonate de chaux préparé comme on vient de l'indiquer, et qui formait des agglomérations.

Plusieurs jours après que la masse eut été déposée dans le vase, on planta sur plusieurs points des morceaux de fil de fer rouillé, et on les retira aussitôt en laissant par le frottement, dans l'intérieur du sol, la quantité de fer nécessaire. Cette opération avait en outre l'avantage d'empêcher le sol de devenir trop compacte.

Lorsque la quatrième feuille montra des taches ferrugineuses, on éloigna le fil de fer et l'on ajouta les 2 milligrammes de carbonate de manganèse indiqués plus haut parmi les substances additionnelles.

Tige haute de 19 centimètres; feuilles d'un vert foncé; quelques taches ferrugineuses aux feuilles inférieures; les feuilles à bords rugueux; quatre fleurs, quatre fruits très-petits.

L'eau avec laquelle on a lavé le charbon de la plante carbonisée par un commencement de calcination, étant traitée par l'azotate d'argent, a donné un léger trouble. Il s'était donc glissé quelques traces de chlore, malgré que l'on eût constamment arrosé avec de l'eau distillée.

Cette expérience ne prouve pas d'une manière po
que l'avoine ait oui ou non besoin de chlore.

Pas de jets latéraux.

Le milieu que l'on a préparé ici pour la plante ne
convient nullement; cependant la formation de quatre p
fruits est remarquable.

N° XL. — *Carbonate de chaux artificiel, purifié de chlore et d'alumine.*

0gr,035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous d
0gr,018 de potasse } 10 grammes d'eau.
22gr,0 de carbonate de chaux non calciné.
0gr,04 de phosphate de chaux.
0gr,03 de sulfate de chaux.
0gr,02 de carbonate de magnésie.
Fer comme au n° XXXIX.
0gr,030 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 5 grammes d'eau.

On a préparé le carbonate de chaux par l'azotate de chaux, on l'a purifié de chlore, on lui a enlevé l'alumine au moyen du sulfhydrate d'ammoniaque, ce qui n'avait pas eu lieu au n° XXXIX; après la volatilisation du sulfhydrate, on a précipité par du carbonate d'ammoniaque, mais on n'a pas calciné.

La plante s'éleva à 8 centimètres, refusa de produire une tige et mourut à la quatrième feuille sans avoir eu de fleurs. Les feuilles étaient d'un vert très-pâle et très-longues.

Il est clair que ce sol a été plus contraire à la plante que celui du n° XXXIX, tant sous le rapport chimique que sous le rapport mécanique.

N° XLI. — *Poudre de cristal de roche calcinée.*

Avec fluorure de calcium et feldspath artificiel.

0gr,035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10 gr.
0gr,018 de potasse } d'eau.
0gr,1 de carbonate de chaux.

gr,005 de fluorure de calcium.
gr,03 de phosphate de chaux.
gr,03 de sulfate de chaux.
gr,02 de carbonate de magnésie.
gr,1 de feldspath artificiel composé comme au nº XXXI.
gr,025 d'oxyde de fer magnétique.
gr,001 de carbonate de manganèse.
gr,038 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 1 gramme d'eau, ajouté à la solution de silicate de potasse, chauffé jusqu'à presque entière disparition de l'odeur ammoniacale, étendu d'eau, et ramené au volume de 17 grammes d'eau.

Les deuxième et troisième feuilles d'un vert très-pâle avec stries jaunes; les quatrième et cinquième feuilles, plus vertes, mais encore avec quelques stries jaunes; les sixième et septième feuilles d'un vert foncé, très-vigoureuses; la gaine de la sixième feuille remarquablement colorée en rouge-pourpre. Croissance de la plante d'une lenteur extraordinaire dans le commencement.

Tige haute de 35 centimètres; sept feuilles; pas de fleur.

Trois jets latéraux se sont formés lorsque la septième feuille parut sur la tige principale.

Nº XLII. — *Sable de Kœnigslutter.*

Avec les cendres de deux plantes vigoureuses d'avoine, y compris leurs fruits.

On a cherché d'abord à débarrasser le sable de l'alumine par des lavages répétés; puis, après l'avoir intimement mélangé avec les cendres, on y ajouta 3 centigrammes d'azotate d'ammoniaque dissous dans 17 grammes d'eau.

La première feuille se développa très-bien, mais elle s'inclina sous l'influence directe du soleil, tandis qu'elle se relevait dans la lumière diffuse; la deuxième feuille parvint à son complet développement, seulement elle était jaunâtre à la base, et elle devint bientôt d'un rouge de rouille à la pointe. La plante mourut avant le développement de la troisième feuille.

Comme la plante de l'expérience n° II avait supp
une plus forte dose d'azotate d'ammoniaque, il semb
ici que la mort de la plante doit être attribuée à la pré
de la cendre ajoutée. L'action nuisible de cette cendre
raîtrait devoir être attribuée à la décomposition des sul
pendant la combustion, conséquemment au manque de
fates, comme dans l'expérience n° XI, plutôt qu'à c
circonstance que la cendre de deux plantes d'avoine au
pu donner au végétal telle ou telle partie constituante in
ganique en trop forte proportion. On peut supposer au
l'action d'un peu de sulfure métallique.

Cette expérience a eu pour objet de rechercher si
cendre de la plante *elle-même* contient toutes les parti
inorganiques nécessaires pour former les fruits en nomb
normal proportionnel au nombre des fleurs.

Nous avions cru possible qu'une certaine matière ino
ganique du sol dût *nécessairement* se trouver *dans* ce so
sans que néanmoins les racines l'absorbassent, en agissa
seulement par action catalytique.

Cette expérience ne doit être considérée que comm
préliminaire; elle n'est destinée qu'à chercher si la plan
peut supporter ses propres cendres; plus tard elle sera co
tinuée dans du cristal de roche pur.

N° XLIII. — *Acide silicique artificiel calciné.*

0^{gr},035 d'acide silicique 0^{gr},018 de potasse	silicate de potasse dissous dans 10 d'eau.

0^{gr},1 de carbonate de chaux.
0^{gr},04 de phosphate de chaux.
0^{gr},03 de sulfate de chaux.
0^{gr},02 de carbonate de magnésie.
0^{gr},02 d'oxyde de fer magnétique.
0^{gr},05 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'ea

Cette expérience a été faite dans des vases de porcelai

ns de cire à l'intérieur; il en est de même des expé-
es suivantes.

'acide silicique, dans lequel la plante a végété, était
en volume au sable et au quartz employés dans les ex-
ences précédentes. Il a été obtenu en traitant le sili-
de potasse par l'acide azotique.

La première feuille est verte; la deuxième d'un vert très-
le, ce qui nécessite l'addition de 1 centigramme d'oxyde
fer magnétique; cependant la troisième feuille se déve-
ppe avec une couleur d'un vert également très-pâle; on im-
ante alors dans le sol un fil de fer, ce qui donne une co-
ration un peu plus verte aux feuilles suivantes, sans leur
ire perdre la pâleur qui continue.

Tige haute de 54 entimètres, très-mince et languissante,
nclinée.

Six feuilles étroites, pâles; trois fleurs incomplètes, sans
ruits.

Deux jets latéraux languissants.

L'acide silicique artificiel ne convient pas à la plante comme milieu pour les racines, même lorsqu'il a été lavé et calciné avec soin. L'acide silicique ainsi préparé conserve toujours des réactions acides lorsqu'on le dépose humide sur un papier de tournesol; cette réaction se manifeste aussi après la calcination, quand on laisse le corps pendant quelques instants sur le papier de tournesol : l'acide silicique précipité par le carbonate d'ammoniaque et calciné présente le même phénomène. Cependant nous nous sommes assuré que cette réaction acide n'était pas nuisible pour la plante. En effet, en faisant végéter l'avoine dans cet acide silicique, *sans* aucune substance additionnelle, nous avons obtenu un produit sain, coloré en vert vif, quoique petit et faible, comme tous les végétaux venus dans un sol où il n'y a pas de substances additionnelles nutritives; l'avoine produite était ici remarquablement faible.

La raison de cette mauvaise croissance dans un milieu

pourvu de substances nutritives semblerait devoir être attribuée à la *porosité* de l'acide silicique, à *l'air* qui est renfermé dans ses pores, ce qui a occasionné à chaque arrosage des soulèvements parmi les particules de silice; ces soulèvements ont changé la position des particules siliceuses et ont ainsi porté atteinte aux radicules si fines de la plante. Les racines de la plante étaient, en effet, d'une finesse remarquable.

N° XLIV. — *Acide silicique artificiel calciné.*

L'acide silicique a été produit comme au n° XLIII.

0^{gr},035 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 7 grammes
0^{gr},018 de potasse. } d'eau.
0^{gr},1 de carbonate de chaux.
0^{gr},03 de phosphate de chaux.
0^{gr},02 de sulfate de chaux.
0^{gr},01 de carbonate de magnésie.
0^{gr},03 d'oxyde de fer magnétique débarrassé autant que possible de manganèse; point de fils de fer.
0^{gr},03 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Comme la deuxième feuille de cette plante était d'un vert très-pâle, virant sur le jaune, on ajouta au sol 1 centigramme d'oxyde de fer magnétique, mais sans succès; car la troisième feuille, de même que les feuilles suivantes, eurent toutes une coloration d'un vert pâle jaunâtre.

Tige haute de 30 centimètres, languissante; deux fleurs; un fruit.

La même expérience fut répétée dans de l'acide silicique obtenu du silicate de potasse par l'acide chlorhydrique; on le réunit aux mêmes substances additionnelles augmentées de 1 centigramme de sulfate de chaux et de 1 centigramme de carbonate de magnésie.

Tige haute de 24 centimètres; feuilles d'un vert très-pâle.

Deux fleurs, un fruit.

Les racines étaient courtes, elles avaient des places brunes en plusieurs parties, et semblaient avoir été malades.

N° XLV. — *Porcelaine de Berlin grossièrement pilée.*

0gr,047 d'acide silicique } silicate de potasse dissous dans 10 gr.
0gr,020 de potasse } d'eau.
0gr,14 de carbonate de chaux.
0gr,04 de phosphate de chaux.
0gr,05 de sulfate de chaux.
0gr,01 de carbonate de magnésie.
0gr,005 de carbonate de manganèse.
0gr,05 d'azotate d'ammoniaque dissous dans 10 grammes d'eau.

Le fer nécessaire à la masse y fut introduit avec la porcelaine qui avait été broyée dans un mortier de fer.

Les plus gros fragments de cette masse de porcelaine pulvérisée avaient un diamètre de 3 millimètres. On élimina les parcelles les plus fines de la porcelaine, parce qu'elles contiennent des combinaisons de chlore qu'il est *très-difficile* d'enlever par le lavage. Les parties grossières furent soigneusement lavées, jusqu'à l'absence de toute réaction par les sels d'argent. Le volume de la masse de porcelaine pulvérisée était d'un quart plus considérable que le volume de quartz, etc., adopté dans les précédentes expériences.

Comme la première feuille ne paraissait pas se développer régulièrement, on procéda à un nouveau mélange de la masse, après lequel on plaça une nouvelle graine qui ne tarda pas à végéter d'une manière convenable.

Tige principale haute de 62 centimètres; feuilles normales; neuf fleurs, sans fruits.

Lorsque cette tige eut des fleurs, il surgit un jet latéral très-vigoureux, portant trois fleurs sans fruit; ce jet fut suivi d'un second jet latéral, qui eut quatre fleurs et deux fruits.

Cette formation de fruits sur le jet venu en dernier est très-remarquable.

La plante exigeait de fréquents arrosages, parce que le sol, composé de particules grossières, se desséchait rapidement, d'autant plus que le vase en porcelaine servant à cette expérience avait un diamètre de 7 centimètres à la partie supérieure, et que la surface d'évaporation était plus considérable que dans les autres expériences.

Cette plante, singulièrement vigoureuse, coupée et pesée avec les jets latéraux après la dessiccation, a donné un poids de 1^{gr},2.

Elle a été carbonisée avec soin dans un creuset, jusqu'à ce que ce dernier ait commencé à rougir ; l'eau avec laquelle on a lavé le charbon, ayant été concentrée, n'a donné traitée par l'azotate d'argent, qu'un léger trouble de chlorure d'argent, très-perceptible, mais inappréciable en poids.

Résultats et observations.

Des expériences précédentes il semblerait résulter ce qui suit :

1°. *Sans substances additionnelles inorganiques* et *azotées,* l'avoine croît dans du sable bien calciné ; son développement est normal, mais *très-languissant;* elle reste *petite;* le nombre des fleurs est réduit à deux, celui des *fruits* à un, *quoique* le sable n'ait *pas* été complétement débarrassé de silicates et de traces de phosphate de fer. L'assimilation des principes de l'atmosphère est très-minime.

2°. *Avec des substances additionnelles azotées* (*sans* substances additionnelles minérales) on obtient dans ce *même sable* (qui contient encore des traces de silicates) une plante *plus haute,* portant *une* fleur et *un* fruit *de plus,* mais la tige *perd la force de se soutenir elle-même*. L'assimilation des principes atmosphériques reste encore très-minime. Dans le *quartz,* uni aux substances additionnelles ci-dessus, il n'y a presque *plus* de tige, il n'y a *pas* de fleurs. L'assimilation est presque complétement suspendue.

3°. *Sans les substances additionnelles azotées*, mais en *ajoutant ensemble* les sept corps suivants :

Acide silicique,
Potasse,
Chaux,
Magnésie,
Fer (oxydé),
Acide phosphorique,
Acide sulfurique,

la plante reste *petite* et *languissante*, comme dans le premier cas; mais la formation des fleurs est *encore plus* restreinte, et celle des fruits *cesse complétement; en revanche*, on remarque une disposition à la formation d'une *deuxième* tige. La fin de la végétation n'est donc pas normale.

L'assimilation reste encore très-faible.

4°. Si *ces* sept matières inorganiques sont mélangées *avec* des substances additionnelles azotées, et si elles sont présentées à la plante d'une manière convenable (expérience n° XVII), alors la croissance de la plante devient non-seulement normale, mais encore *vigoureuse;* la formation des fleurs est *considérablement augmentée*. Cependant *la formation normale des fruits* avec terminaison normale de la végétation n'a *pas encore* lieu, mais on remarque des tendances à la formation de *nouvelles* tiges (jets latéraux).

L'*assimilation* s'opère *actuellement avec vigueur*, et les conditions de l'assimilation ne semblent être remplies que *maintenant*.

5°. Mais si l'*un* des sept corps inorganiques cités plus haut *manque*, tout en ayant *conservé* les substances additionnelles *azotées*, alors le développement des organes est entièrement ou partiellement troublé, ou bien leur apparition est *anormale*, et a lieu comme il suit :

Sans chaux, mort du végétal à la deuxième feuille, *sans* formation de tige.

Sans magnésie, la tige est languissante, inclinée; la couleur est anormale; la formation des fleurs est modifiée et les fleurs sont rabougries; pas de fruits. (Une nouvelle expérience, entreprise avec du charbon de sucre parfaitement lavé, mais en laissant de côté la magnésie, a donné une plante *sans* aucune fleur, d'apparence chétive, et avec formation de tige incomplète.)

Sans potasse, formation d'une tige très-courte, très-languissante, inclinée; couleur anormale; fleurs réduites à une seule, et cette fleur unique incomplète.

Sans acide silicique soluble et sans potasse, la formation de la tige s'arrêtant à une hauteur de 8 centimètres; couleur anormale; feuilles naissant *avant* le temps; *pas* de fleurs.

Sans acide phosphorique, formation d'une tige languissante, inclinée; couleur pâle; fleurs réduites à *une seule*, mais complète; *pas* de fruit; en revanche, disposition à la formation d'une tige nouvelle par *un* jet latéral.

Sans acide sulfurique, *pas* de tige; la plante meurt à la troisième feuille, après avoir essayé, sans succès, de former une autre tige.

Sans fer; la couleur *verte manque* plus ou moins à la plante, qui ressemble à un végétal venu dans un lieu obscur; la formation des fleurs cesse, ou est profondément modifiée (expérience n° XII, qui est *caractéristique*). (Quand il y a de la magnésie dans le sol, la formation des fleurs *semble* ne pas autant souffrir de l'absence du fer (expérience n° XVI); cependant la magnésie alors employée pouvait peut-être contenir quelques traces de fer. Dans une expérience postérieure, faite dans du charbon de sucre parfaitement lavé, la plante, privée de fer, n'a produit ni tige ni fleur, et seulement des *feuilles presque blanches*.)

6°. Il semblerait donc que ces sept corps inorganiques constituent les *parties constituantes nécessaires* de l'avoine, et qu'ils *suffisent à la complète formation des fleurs*, quand la *substance azotée* ne manque pas. Les expériences ne prouvent pas d'une manière *positive* que le *chlore* doive faire partie de cette série, car on a toujours constaté des traces de chlore dans les plantes venues dans des milieux où l'on s'était efforcé d'empêcher tout mélange accidentel de chlore, soit par les soins d'appropriation, soit par l'arrosage avec de l'*eau doublement distillée*. La présence du chlore ne pouvait être attribuée au grain de semence, car il n'est pas un seul grain où l'on ait indiqué jusqu'ici la présence de ce corps.

Relativement à la formation des fruits, ces sept corps ne paraissent suffire en aucune façon, point sur lequel nous reviendrons plus loin.

7°. La *soude* semble ne *pas pouvoir* remplacer la potasse (expérience n° XXII).

8°. D'après ce qui précède, la plupart des résultats de ces expériences dans le sable quartzeux et dans le quartz s'accordent complétement avec les résultats des expériences que nous avons exécutées, en 1848, dans du charbon de sucre. Il faut observer toutefois que le sable contenait des traces de silicates; que les milieux des expériences n^{os} I, II, III, IV, n'étaient pas absolument libres de phosphate de fer dont le sable contient des traces; qu'enfin le charbon de sucre, ainsi qu'on l'a trouvé plus tard, n'était pas parfaitement pur de traces de matières inorganiques.

Mais l'expérience *sans* substances additionnelles inorganiques, *avec* azotate d'ammoniaque, a donné des résultats bien différents, suivant qu'elle a eu lieu dans le charbon de sucre ou dans le sable; cela provient de ce que, pour l'expérience dans du charbon de sucre, on a pris trop d'azotate d'ammoniaque, ainsi que l'aspect des racines l'a démontré. La différence qui sépare les résultats des expériences entre-

prises parallèlement pour le fer, provient aussi de la quantité de fer employée, ce que la suite démontrera.

9°. Le *manganèse* ne semble pas être nécessaire à l'avoine, du moins *avant* la formation du fruit (expérience n° XVII), quand il n'y a pas trop de fer dans le sol. Il était *difficile*, avec le charbon de sucre, de résoudre la question du manganèse, parce que la dissolution du fer, qui est beaucoup plus grande dans le charbon humide, empêchait de trouver la dose convenable de ce métal ; ce qui, pour les expériences dans le charbon, *et à cause de l'excès de fer*, semblait rendre le manganèse nécessaire. (Par une raison semblable, le manganèse sera toujours *relativement nécessaire* pour la plante dans *tout sol* où la dose de fer s'élève souvent au-dessus de 1 pour 100, et où ce fer se trouve en contact perpétuel avec de l'*humus*.)

10°. *Trop de fer* rend la formation de la tige *anormale*; les feuilles se couvrent de *points bruns desséchés* (taches ferrugineuses) en plusieurs endroits (ce qui s'accorde avec les expériences dans le charbon de sucre, dans lesquelles, néanmoins, les taches avaient une couleur différente). La formation des fleurs est rendue difficile, celle des fruits s'arrête.

Mais la plante a besoin d'une *très-petite quantité de fer*, ce qui est démontré par l'expérience faite avec la cendre de la plante de l'expérience n° XXXV ; cette plante ayant eu une fructification et une terminaison normales, avait vécu dans un sable de rivière lavé à l'acide chlorhydrique, et pourvu des substances additionnelles nécessaires, mais sans addition particulière de fer.

11°. Le *phosphate de fer* est très-bien supporté par l'avoine comme source de fer (expérience n° XVIII). On peut également mettre dans un milieu de quartz de l'*oxyde de fer hydraté* pour servir de source de fer (expér. n° XXXII), parce que la masse de quartz ne tarde pas à *se colorer en vert* de bas en haut par des *infusoires siliciques* qui expliquent ici l'action de l'oxyde hydraté.

12°. Le *fluorure de calcium* restreint la croissance de l'avoine et empêche la floraison, même lorsqu'il est introduit en petite quantité dans la masse (expérience n° XLI).

13°. La fructification normale ne réussit pas *dans le quartz* lorsqu'on ajoute à ce dernier les sept corps inorganiques indiqués plus haut unis aux corps azotés ; il n'y a que les contre-épreuves dans le *sable de rivière* calciné (expériences n°s XXXIII, XXXIV), et le sable de rivière *purifié* avec de l'acide chlorhydrique (n° XXXV) qui fassent une *exception remarquable ;* ces deux expériences démontrèrent que la non-réussite ne devait pas être attribuée à la saison. Ces contre-épreuves démontrent encore que, puisque les sept corps inorganiques, unis aux substances azotées, étaient suffisants *dans ces deux cas*, ils devaient l'être aussi pour le quartz, et fournir ce qu'il fallait à une fructification normale ; que si cela n'a pas eu lieu, c'est que le *sable de rivière* contient telle ou telle *substance inorganique* qui ne se rencontre *pas* dans la série des sept corps inorganiques, mais qui est *spécialement* indispensable à la fructification.

14°. L'*alumine semble presque* être l'une de ces substances indispensables à la fructification ; cela paraîtrait du moins ressortir, en quelque sorte, de l'expérience n° XXVII faite avec de l'alumine hydratée, et où ont été produits deux fruits capables de germer ; de l'expérience n° XXXI avec silicate d'alumine artificiel, où ont été produits deux fruits capables de germer ; et de l'expérience n° XXX avec feldspath de Baveno, qui a encore donné comme résultat deux fruits capables de germer. L'expérience n° XXXII avec zéolite (stolécite) d'Islande (*exempt de soude*) n'ayant *pas* produit de fruit, semblerait prouver le contraire, puisque c'est un silicate d'alumine.

15°. L'expérience n° XXVIII avec 3 décigrammes d'argile d'Almérode (légèrement calcinée), *ayant produit* cinq fruits capables de germer, semble prouver que cette argile, *outre* l'alumine nécessaire, contient encore l'*une* des substances inorganiques qui sont *indispensables à la fructification*.

Cela est d'autant plus probable, que l'alumine contenue dans cette argile ne pesait que 6 centigrammes, et qu'après avoir été calcinée, elle n'était pas plus soluble que l'hydrate d'alumine de l'expér. n° XXVII, qui a produit beaucoup moins de fruits. L'argile d'Almérode, lavée, contient, d'après Forchhammer, outre du silicate d'alumine, environ 13 pour 100 de potasse, de manganèse, de fer et des traces de chaux (probablement aussi des traces de soude?).

16°. La *formation des jets latéraux* mérite une attention particulière en ce qui coucerne la fructification. Dans les expériences où des jets latéraux apparaissent, il faut distinguer l'*époque de leur apparition* d'après les périodes de végétation des plantes d'expérience et d'après le nombre des fruits. Les jets latéraux se sont toujours montrés *peu avant* ou *en même temps* que l'apparition des fleurs avait lieu, et ce phénomène s'est manifesté dans toutes les expériences où il *n'y a pas eu* fructification.

Dans l'expérience n° XXVII, avec hydrate d'alumine ayant *produit* deux fruits; dans l'expérience n° XXXI, avec silicate d'alumine et de potasse ayant produit deux fruits susceptibles de germer; dans l'expérience n° XXX, avec feldspath de Baveno ayant produit deux fruits, on voit, au contraire, apparaître des jets latéraux *après* la floraison de la tige principale. Ces jets acquièrent une certaine longueur; ils vont même (expérience n° XXXII) jusqu'à porter cinq fleurs. En revanche, dans l'expérience n° XXVIII, avec *argile* d'Almérode ayant produit *cinq fruits complets*, on ne voit, ce qui est très-curieux, paraître deux bourgeons à jets latéraux qu'au commencement de la fructification.

Il faut encore considérer le cas où il ne se montre *aucune trace* de jet latéral, cas qui s'est présenté dans toutes les contre-épreuves dans le *sable de rivière calciné* (n°s XXXIII, XXXIV, XXXV) qui ont produit six, huit, neuf fruits *complets*. En réunissant dans un seul ensemble les nombres de fleurs, de fruits et de jets latéraux produits dans ces différents cas, on obtient le tableau suivant :

périences.		Fleurs.	Fruits.	Jets latér.
XVII.	Avec hydrate de magnésie.....	7	2	2
XVIII.	Avec argile d'Almérode.....	8	5	2 (tr.-petits)
XX.	Avec feldspath de Baveno.....	4	2	2
XXI.	Avec silicate de potasse et d'alumine artificiel.....	6	2	2
XXXII.	Avec contre-épreuve dans du sable de rivière calciné.....	8	6	0
XXXIV.	Avec contre-épreuve dans du sable de rivière calciné.....	9	8	0
XXXV.	Avec sable de rivière purifié par l'acide chlorhydrique.....	11	9	0

On trouve ainsi que le rapport du nombre des fleurs à celui des fruits est :

Pour l'expérience n° XXVIII comme 8 est à 5,
Pour l'expérience n° XXXII comme 8 est à 6.

Ce rapport est presque *égal* dans ces deux expériences, et c'est pourquoi il est étonnant que, malgré cette similitude, la *végétation* de la plante *dans le sable de rivière cesse avec la maturation du fruit,* tandis qu'elle *ne cesse pas* pour la plante venue dans le *quartz* uni à 3 décigrammes d'*argile* d'Almérode, tandis que même alors elle produit *deux très-petits jets latéraux après la maturation du fruit.*

On trouverait donc dans ce fait une nouvelle preuve que ces 3 décigrammes d'argile d'Almérode contenaient, outre l'alumine, l'une ou l'autre des matières inorganiques nécessaires à *la fructification normale;* mais cette matière *n'y était pas* en quantité suffisante pour produire le nombre de fruits *qui est nécessaire* au *maintien* de la force vitale de cette plante annuelle, et à la *terminaison* normale de la végétation.

17°. L'expérience faite avec 3 décigrammes d'argile d'Almérode, lavés et légèrement calcinés au contact de l'atmosphère, est encore intéressante en ce sens qu'elle *mesure*

les *limites extrêmes* des quantités voulues de certaines substances nécessaires à la fructification, *substances inorganiques* qui sont contenues dans ces 3 décigrammes d'argile. Il s'ensuit que la *formation de cinq fruits* a complétement épuisé cette *substance spéciale, indéterminée*, que la plante a trouvée dans l'argile, car il s'est encore trouvé dans la masse, après la fructification, assez de *force vitale libre* pour produire deux petits jets latéraux; si *cette force vitale libre* avait trouvé de la *substance inorganique indéterminée* pour s'y combiner, il y aurait eu certainement encore formation de fruits, car les autres corps ne manquaient pas, ainsi que le prouve l'expérience n° XXXV.

18°. L'avoine présente une particularité dans le sable de rivière calciné de l'expérience n° XXXVII; ce sable avait, outre les substances additionnelles ordinaires, reçu du *chlorure de potassium* et du *carbonate de soude*. Ici, les jets latéraux apparaissent à une certaine époque, c'est-à-dire *avant* le développement du tuyau de la tige principale. Ainsi la formation des jets latéraux a lieu ici dans la même période de végétation que pour l'avoine venue sur *une terre vigoureuse des champs;* en même temps, il y a accroissement de la production des fruits par les fruits de l'un de ces jets latéraux.

Il semblerait possible d'admettre que l'*augmentation* de la production des fruits par *la formation de tiges latérales* provient de 5 milligrammes de chlorure de potassium et de 1 milligramme de carbonate de soude, ou de l'un des deux, car ce phénomène ne s'est pas manifesté dans le même sable de rivière, privé de ces deux corps. Cette expérience ferait penser également que le *chlorure de potassium* et le *carbonate de soude* contiennent au moins l'*une des substances spécifiquement nécessaires à la fructification*. Est-ce le chlore et la soude, *ou l'un des deux*, qui ont agi? c'est ce que de nouvelles expériences devront déterminer, et nous nous proposons de les entreprendre. Il est fort curieux que ces

eux corps, unis à la pierre à fusil (n° XXXVIII), n'aient as produit de fruit.

19°. L'*apparition* de jets latéraux, pour les plantes venues dans le quartz, *avec ou après la maturation* du fruit, semble fournir *un signe* de nature à indiquer l'*absence partielle ou totale* des corps *nécessaires à la fructification;* nous pensons qu'il faut se servir de ce signe comme vérification, parce que, si l'on n'en tenait pas compte, on pourrait être conduit à prendre, dans les n°s XXVII et XXVIII, où il y a eu formation de deux fruits susceptibles de germer, l'alumine comme la cause déterminante et spécifique de la fructification, tandis que, en tenant compte de ce signe, on peut trouver que l'alumine est ici complétement inutile, et que c'est *peut-être* un peu *de soude* retenu dans l'*alumine* ou dans *le silicate d'alumine et de la potasse* qui en est la cause unique; et cette explication semble la plus probable quand on se reporte aux analyses des cendres de l'avoine, qui parlent toutes *pour* la soude *contre* l'alumine, et que l'on raisonne d'après les expériences n°s XXXII et XXXVII.

L'avoine doit, comme plante annuelle, *terminer entièrement* sa végétation avec la pleine maturation du fruit; cette marche aura lieu régulièrement lorsqu'on se sera assuré que la plante *a reçu toutes* les substances nutritives *nécessaires*, en quantité *suffisante* et dans l'ordre de succession voulu.

20°. Dans *toutes* les expériences, on a remarqué qu'il se formait une *goutte* petite, claire et incolore, au bout de la *première* feuille, au *commencement* de son apparition; cette goutte se montrait à la pointe, après le coucher du soleil, elle grossissait pendant la nuit et disparaissait pendant le jour, excepté lorsque le temps était très-humide; cette goutte contient de la *gomme*. La goutte la plus riche en gomme que l'on ait observée a été prise sur un plant d'avoine venu dans du charbon de sucre *sans* substances additionnelles inorganiques, mais *avec* 4 centigrammes

d'azotate d'ammoniaque (dissous dans 8 grammes d'eau). Lorsque la feuille continue à se développer, le phénomène disparaît. Ce phénomène ne se montre que sur la *première feuille, jamais sur aucune des feuilles suivantes.*

Pendant le jour, on voit la gomme sèche rester suspendue à la pointe de la feuille. Ce phénomène est indépendant du sol, car on l'a observé sur le sable pur, sur le sable de rivière, sur le quartz et sur le charbon de sucre. On l'a également remarqué à *l'épreuve germinative* des *fruits obtenus* dans les expériences; il a été surtout très-marqué sur les plantes provenant des deux fruits obtenus à l'expérience n° III; la gouttelette y séjournait plus longtemps pendant le jour. On a également retrouvé la gouttelette à l'épreuve germinative des fruits des expériences des n°s XIII, XIV et XXVII; mais elle y a été tardive, parce que la première feuille s'est développée *plus lentement.* (Toutes les épreuves germinatives ont eu lieu dans le sable pur.) Le phénomène de la goutte cesse souvent au bout de deux jours.

21°. Lors de l'épreuve germinative des fruits des expériences n°s XIII, XIV et XXVII, on a trouvé un développement légèrement anormal de la première feuille, car lorsqu'elle sortit de sa gaîne, elle conserva la forme de tuyau, tout en ayant 3 centimètres de longueur; elle ne se déployait pas vers la pointe; *plus tard* cependant elle s'est déployée normalement. Cette particularité prouve ordinairement un trouble dans le développement des racines; elle n'a pas été remarquée dans les autres épreuves germinatives, notamment dans celle des cinq fruits de l'expérience n° XXVIII (argile d'Almérode).

22°. Un plant d'avoine, qui s'est développé jusqu'à la première ou la deuxième feuille dans de la poudre de quartz pourvue de substances additionnelles inorganiques, ne supporte *pas* une addition de 2 centigrammes d'azotate d'ammoniaque dissous dans 5 grammes d'eau; il se couvre de taches jaunes. Ce que le plant doit absorber de ce dernier

ps, il faut qu'il puisse l'absorber *immédiatement* dans le *pendant la germination;* sans cela l'organisme, surtout développement radiculaire, est troublé.

23°. Un sol est en quelque sorte analysé par les plantes i indiquent si ce sol contient toutes les substances né-aires à leur végétation dans une condition telle que ces ntes puissent se les assimiler. Si ce point est admis, on peut tirer comme conséquence qu'il serait peut-être vantageux de se servir de la méthode employée dans la rie des expériences précédentes (addition de substances diverses dans des vases isolants) pour éprouver dans certains cas quelques terrains naturels; par là on arriverait à déterminer les substances qui y *manquent*, beaucoup mieux que si l'on avait recours à des analyses de sol qui, *comme on le sait*, ne sont pas toujours satisfaisantes.

Bien que l'on puisse admettre que nous ayons prouvé synthétiquement, par ce qui précède, la *nécessité* des parties *inorganiques* ainsi que celle de combinaisons azotées dans le sol pour ce qui concerne la végétation de l'avoine, et que nous ayons ainsi mis en évidence la plupart des substances inorganiques nécessaires aux différentes phases végétatives (la question du chlore exceptée) jusqu'à la floraison complète, il n'en est pas moins vrai qu'il reste encore à trouver et à désigner la substance spéciale qui est nécessaire à la *fructification*, ce qui formera l'objet des nouvelles recherches de notre part.

Note sur le sulfure d'azote de M. *Grégory*, et sur la variété de soufre insoluble dans le sulfure de carbone; par MM. M.-J. Fordos et A. Gélis.....

Mémoire sur le sulfure d'azote; par MM. M.-J. Fordos et A. Gélis.....

Sur la forme cristalline du sulfure d'azote; par M. J. Nicklès

Production de l'hydrate de baryte pur, par le carbonate de baryte sous l'influence de la vapeur d'eau surchauffée; par M. V.-A. Jacquelain.....

Note sur l'action chimique qu'exerce l'acide carbonique sur le fer en présence de l'eau; par M. Golfier-Besseyre.

Étude des lois de l'induction à l'aide de la balance électrodynamique; par M. A. Lallemand.....

Recherches sur la nutrition de l'avoine, particulièrement en ce qui concerne les matières inorganiques qui sont nécessaires à cette nutrition; par M. le prince de Salm-Horstmar

Observations météorologiques du mois de juin 1851.....

Table des matières du tome XXXII.....

PLANCHES.

Pl. I. — Action de la vapeur d'eau sur les carbonates. — Propagation du courant électrique dans la terre.

Pl. II. — Mémoire sur les charbons de bois.

FIN DE LA TABLE DU TOME TRENTE-DEUXIÈME.

PARIS. — IMPRIMERIE DE BACHELIER,
Rue du Jardinet, n° 12.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R L